

EEG-Alpha-Phase und visuelle Reaktionszeit

Inaugural-Dissertation
zur Erlangung der Doktorwürde
der Philosophischen Fakultäten
der Albert-Ludwigs-Universität
zu Freiburg i. Br.

vorgelegt von
Albrecht Rasche
aus Weimar

Freiburg i. Br. 1979

EEG-Alpha-Phase und visuelle Reaktionszeit

Inaugural-Dissertation
zur Erlangung der Doktorwürde
der Philosophischen Fakultäten
der Albert-Ludwigs-Universität
zu Freiburg i. Br.



vorgelegt von
Albrecht Rasche
aus Weimar

Freiburg i. Br. 1979

Referent: Prof. Dr. J. Fahrenberg
Korreferent: Doz. Dr. E. Grünewald-Zuberbier
Sprecher: Prof. Dr. H. Steger
Tag der Promotion: 18. Mai 1979



I. Einleitung.....	1
1. Fragestellung.....	1
2. Zum Begriff der Alpha-Phase.....	3
3. Der Alpha-Rhythmus, eine zentralnervöse Zeitbasis?.....	4
II. Bisherige Untersuchungen zum Zusammenhang von occipitaler Alpha-Phase und Reaktions- zeit.....	8
1. Befunde.....	8
2. Kritische Betrachtung der Experimente.....	11
a) Versuchspersonen-Auswahl.....	11
b) Reizbedingungen.....	13
c) Reaktionszeit-Messung.....	15
d) EEG-Analyse.....	17
3. Dateninterpretation.....	20
III. Versuchsplanung, experimenteller Aufbau und Versuchsdurchführung.....	23
1. Versuchsplanung.....	23
2. Versuchsaufbau.....	27
3. EEG-Ableitungen.....	28
4. Erfahrungen aus Vorversuchen.....	29
a) Die Einstellung ('mental set') der Versuchspersonen zum Reiz-Reaktions- geschehen.....	30
b) Instruktionen.....	32
c) Trialblocks und Versuchsdauer.....	32
d) Versuchsablauf.....	33
e) Die Motivation der Versuchspersonen....	34
IV. Reaktionszeit-Messung und EEG-Analyse.....	35
1. Überblick, Instrumentation.....	35
2. Messung der Reaktionszeiten.....	35
3. EEG-Digitalisierung.....	36
4. Trial-Elimination.....	36

5. Definition und Berechnung der EEG-Parameter.....	38
a) Glättung des EEGs.....	39
b) Intervall-Amplituden-Analyse des EEGs....	40
c) Definition der Phasen-Parameter.....	41
V. Befunde.....	45
1. Überblick über die statistische Datenanalyse.....	45
2. Die Reaktionszeit-Verteilungen.....	45
3. Der Alpha-Rhythmus im Prästimulusintervall.....	47
4. Trialelimination und Phasenintervall-Einteilung.....	48
5. Ergebnisse der Varianzanalysen.....	51
a) Analyse über 10 Phasenintervalle.....	53
b) Analyse über 6 Phasenintervalle.....	57
c) Zusammenfassende Betrachtung der varianzanalytischen Befunde.....	59
VI. Diskussion.....	62
VII. Abbildungen.....	67
VIII. Tabellen.....	76
IX. Zusammenfassung.....	83
X. Literatur-Verzeichnis.....	85

I. Einleitung

=====

Der EEG-Alpha-Rhythmus hat seit seiner Entdeckung zu einer großen Zahl von Untersuchungen und Spekulationen angeregt, in die psychologische Dimensionen unterschiedlichen Komplexitätsgrades einbezogen wurden. Schließt man sich dem Urteil von H. GASTAUT (1974) an, so hat der geringste Teil der in diesen Arbeiten entwickelten Hypothesen der empirischen Prüfung standgehalten. Dies gilt vor allem für Vorstellungen über den Zusammenhang des Alpha-Rhythmus mit komplexen Persönlichkeits-Merkmalen. Die hier vorgelegte Arbeit soll dazu dienen, weitere Aufklärung über einen bisher nicht zuverlässig gesicherten Zusammenhang zwischen EEG- und Verhaltensmerkmalen zu bringen.

1. Fragestellung

Die Fragestellung der darzustellenden Untersuchung bezieht sich auf einen relativ einfachen Reiz-Reaktions-Ablauf und auf dessen mögliche Abhängigkeit von den cortikalen Spannungsschwankungen, die dem Alpha-Rhythmus zugrundeliegen.^{+) BARTLEY & BISHOP (1933), BISHOP (1933) und CHANG (1951, 1952) fanden Größenunterschiede in evozierten cortikalen Potentialen in Abhängigkeit von der Phase spontaner und evozierter cortikaler Rhythmen im Bereich der Alpha-Frequenz.}

Seither ist in einer Reihe von Untersuchungen die Auffassung vertreten worden, der Alpha-Rhythmus repräsentiere einen zeitlichen Steuerungsmechanismus für die vi-

+) Diese Arbeit wurde im Rahmen des Sonderforschungsereichs 70 angefertigt. Mein Dank gilt allen Mitgliedern der Forschungsgruppe C 3 des SFB 70, besonders Priv. Doz. Dr. E. Grünwald-Zuberbier und Prof. G. Grünwald für ihre wertvollen Anregungen.

suelle Informations-Verarbeitung, der in zentralnervösen Prozessen und in Verhaltensmerkmalen nachweisbar ist. Die Mehrzahl der Autoren vertritt dabei die Auffassung, daß es sich bei der Schwankung des cortikalen Spannungszustandes während einer Alphaperiode um einen sog. Erregungszyklus (excitability cycle) handelt, der die wechselnde Bereitschaft des Cortex zur Reizverarbeitung widerspiegelt; diese Vorstellung von einem Erregungszyklus findet sich u.a. bei JASPER (1963), CLARE & BISHOP (1952), LANSING (1957), CALLAWAY (1962), CALLAWAY & ALEXANDER (1960), DUSTMAN & BECK (1965) und HARTER (1967). Der Zeitpunkt eines gegebenen Spannungswertes innerhalb der zyklischen Potentialschwankung wird hierbei - in Analogie zur Sinusschwingung - als 'Phase' bezeichnet.

Seit den 50er Jahren ist eine Reihe von Arbeiten erschienen, in denen versucht wurde, eine Abhängigkeit der einfachen Reaktionszeit (RZ) auf kurze visuelle Reize von der Phase des Alpha-Rhythmus, in die der Reiz fällt, nachzuweisen. Die bisherigen Befunde, die in besonderen Kapiteln dargestellt und diskutiert werden sollen, sind uneinheitlich; die entsprechenden Experimente weisen z.T. bemerkenswerte methodische Mängel auf.

Die in der vorliegenden Arbeit dargestellten Experimente sollten dazu dienen, unter weitgehender Elimination solcher Mängel aus Versuchsplanung und Datenanalyse, die Grundhypothese einer Abhängigkeit der RZ auf kurze Lichtreize von der Phase des occipitalen Alpha-Rhythmus erneut zu überprüfen und, falls möglich, eine Aussage über die Art dieses Zusammenhanges zu versuchen.

Vor der Diskussion der bisher erschienenen Literatur zu diesem Thema und der Darstellung meiner eigenen Befunde, soll kurz auf das Phänomen des Alpha-Rhythmus an sich und auf verwandte Gebiete, die sich mit dem Alpha-Rhythmus i.S. eines cortikalen Erregungszyklus befassen, eingegangen werden.

2. Zum Begriff der Alpha-Phase

Alle bisherigen Befunde zum Zusammenhang zwischen Alpha-Phase und RZ beziehen sich auf die am menschlichen Schädel bei Ruhe und unstrukturierter visueller Reizung ableitbaren Potentialschwankungen. Nach heutiger Auffassung sind diese kortikalen Ursprungs, dabei aber von einem thalamischen Schrittmacher abhängig (z.B. ANDERSEN & ANDERSSON 1968, SCHEIBEL et al., 1973). Bei der Messung der Alpha-Phase muß bedacht werden, daß die Ableitung vom Schädel nur ein ungenaues Bild der kortikalen Verhältnisse ergibt. Auch bei einem desynchronisierten Skalp-EEG zeigen kleinere kortikale Areale ('Generatoren') Potentialschwankungen im Alpha-Bereich. Experimentell hat sich gezeigt, daß die zwischen dem Cortex und der Kopfhaut-Elektrode liegenden Schichten zu einer Art Mittelung der Potentiale über relativ breiten Arealen führen. DeLUCCHI und Mitarbeiter (1962) sehen in diesen Schichten "... an averager of electrical activity from underlying cortical areas, averaging out the local random rhythms and transmitting the rhythms which are common to and synchronous over large areas."

Auch nach COOPER und Mitarbeitern (1965) deutet der vom Schädel abgeleitete Alpha-Rhythmus auf einen Synchronisations-Zustand: "... the distinctive features of the EEG must represent coherent activity over quite large areas of cortex." Hierbei soll eine höhere EEG-Alpha-Amplitude weniger aufgrund lokaler kortikaler Amplitudenerhöhung als vielmehr durch die Synchronisation größerer kortikaler Areale zustandekommen: "The characteristic fluctuations in normal alpha rhythms are probably mainly due to changes in the area involved in synchronous discharge rather than to variations in local amplitude." (COOPER et al., 1965).

Diese Verhältnisse sind bei Phasenmessungen am Schädel-Alpha von großer Bedeutung. Eine solche Messung kann nur sinnvoll sein, wenn die erfaßte Phase annähernd mit der derjenigen kortikalen Areale übereinstimmt, die an der

Reizverarbeitung entscheidend beteiligt sind. Über die Lokalisation dieser Areale sind keine exakten Angaben möglich, man könnte allerdings vermuten, daß hier der Calcarina-Rinde besondere Bedeutung zukommt, da sie sowohl Alpha-Aktivität als auch die deutlichsten evozierten Reaktionen auf einzelne Flash-Reize zeigt (PEREZ-BORJA et al., 1962, cortikale Ableitungen). Aus den vorgenannten Überlegungen ergibt sich m.E., daß Phasen-Messungen in hochsynchronisierten EEG-Zuständen vorgenommen werden sollten, da in diesen die Wahrscheinlichkeit, den Zustand der an der Reizverarbeitung beteiligten Generatoren von Alpha-Aktivität zu messen, am größten ist. Hierbei wird angenommen, daß diese Areale ebenso wie andere zur Synchronisation neigen.

Bei der Beurteilung der unter solchen Bedingungen gewonnenen Befunde sollte allerdings auch bedacht werden, daß ein hochsynchronisiertes Alpha-EEG keinen psychischen Normalzustand kennzeichnet: "In a sense the alpha rhythm is an abstraction both electroencephalographically and psychologically; at best it represents an unusual and limited state of affairs in the life of the organism." (LINDSLEY 1952).

2. Der Alpha-Rhythmus, eine zentralnervöse Zeitbasis?

Zeitliche Ordnungsvorgänge müssen in den komplizierten zentralnervösen Informations-Fortleitungs- und Integrationsprozessen eine besondere Rolle spielen. Eine regelmäßig in der Literatur wiederkehrende Annahme ist, daß der Alpha-Rhythmus eine Art Zeittakt repräsentiert, dessen Ursprung wohl in thalamischen Schrittmachern zu suchen wäre. Dieser Zeittakt soll eine Steuerungsfunktion innerhalb einer diskontinuierlichen Informationsverarbeitung durch sukzessive Verarbeitung von Informationsstichproben haben (z.B. HARTER 1967).

Befunde, die die Annahme einer periodischen Modulation sensorischer und motorischer Prozesse im Bereich der Alpha-Frequenz stützen könnten, stammen vor allem aus:

- a) der Wahrnehmung-Forschung: der Brücke-Bartley-Effekt (BARTLEY 1939) der Steigerung der subjektiven Helligkeitswahrnehmung bei Flickerreizung im Bereich der Alpha-Frequenz ist von LINDSLEY (1952) im Zusammenhang mit dem Alpha-Rhythmus als Effekt eines Erregungs-Zyklus interpretiert worden. HOLUBAR (1969) fand eine Abhängigkeit der Zeitschätzung von der Flickerfrequenz im Photic-driving-Experiment. Der psychische Moment v.BAERS (1864) und Gruppierungsphänomene in der Wahrnehmung aufeinanderfolgender Signale könnten als rein psychologische Phänomene eine Beziehung zu diesem Thema haben.
- b) der Reaktionszeit-Forschung: VENABLES (1960) fand multimodale RZ-Verteilungen mit Periodizitäten von 100 msec. Diese Befunde wurden später von LATOUR (1967) und LATOUR & BOUMAN (1968) für oculomotorische RZn bestätigt, allerdings mit z.T. anderen Periodizitäten. Diese Autoren versuchten auch, ihre Ergebnisse im Zusammenhang mit der Alpha-Periode zu interpretieren.⁺)

Die Modellvorstellungen über die funktionale Bedeutung des Alpha-Rhythmus in diesem Zusammenhang gliedern sich in drei Grundformen:

⁺) Die Experimente von SURWILLO zum Zusammenhang von EEG-Frequenz und RZ sind von BODDY (1971) kritisiert worden, der selbst keine Beziehung zwischen diesen beiden Größen fand. Da neuere Ergebnisse von COFFIN & GANZ (1973) doch für einen solchen Zusammenhang zu sprechen scheinen, muß diese Frage weiterhin als ungeklärt gelten..

- 1) Die Vorstellung vom Alpha-Rhythmus als einem corticalen 'Scanning mechanism' stammt ursprünglich von PITTS & McCULLOCH (1947) und wurde später von WIENER (1948), STROUD (1949) und W.G.WALTER (1950) aufgegriffen. 'Scanning' meinte ursprünglich eine sukzessive unspezifische Erregung corticaler Schichten, die die Schwelle der jeweils erregten Schicht für spezifische Afferenzen senkt. In der erweiterten Form des Modells bei WIENER und G.WALTER beinhaltet der Scan einen blockweisen Informationstransport zwischen den Schichten, was einer Aufgliederung der psychologischen Zeit in diskrete, in sich zeitlose "Momente" entspricht.⁺) WIENER selbst hat die Analogie mit Vorgängen in einem Fernsehapparat hervorgehoben.
- 2) LINDSLEY (1952) griff einen Entwurf von MEISTER (1951) auf, der im Alpha-Rhythmus den Repräsentanten eines 'neuronic shutter mechanism' sah. Nach Lindsleys Vorstellung soll, gesteuert durch den Alpha-Rhythmus, während einer Augenbewegung eine occipitale Inhibition auftreten, wodurch ein 'Verschmieren' der visuellen Information verhindert wird. Lindsley verglich dieses Modell mit der Funktion einer Filmkamera, in die während des Filmtransports kein Licht einfällt.
- 3) Allgemeiner ist die Vorstellung vom Alpha-Rhythmus als einem (oder mehreren synchronisierten) corticalen 'excitability cycle', der ebenfalls die Funktion eines "gating or timing device for incoming sense data" (HARTER 1967) haben soll. Der Begriff des Erregungszyklus drückt zunächst nicht mehr aus, als die Annahme, daß einer corticalen Negativierung innerhalb der zyklischen Potentialschwankungen eine größere Erregbar-

⁺) Spekulative Überlegungen über eine schnelle periodische Erregbarkeitsänderung in Wahrnehmungsvorgängen finden sich bereits bei FREUD (1925).

keit des Cortex entspricht, die Geschwindigkeit, Ausbreitungsgrad, Amplitude, Zeitpunkt, etc. einiger zentralnervöser Prozesse beeinflusst. Was 'Erregbarkeit' konkret bedeutet, wird im jeweiligen experimentellen Kontext operational festgelegt.

HARTER (1967) hat die Scanning-Hypothese anhand der vorliegenden Befunde einer detaillierten Kritik unterzogen. Obwohl die Ergebnisse von GAARDER et al. (1966) über das Auftreten von Fixationssaccaden in bevorzugten Phasen der Alpha-Periode das Shutter-Modell stützen, müssen beide Ansätze als sehr spekulativ bezeichnet werden, zumal sie sich zu weit von der Ebene des konkret vorliegenden Materials entfernt haben. So kann gegenwärtig nicht von einer empirisch ausreichend belegten Theorie über die Rolle des Alpha-Rhythmus als zeitlich strukturierendem Bestandteil in der visuellen Informationsverarbeitung gesprochen werden, obwohl eine Reihe von Einzelbefunden in diese Richtung weisen. Im übrigen legen es Ergebnisse aus Tierversuchen nahe, daß auch der Theta-Rhythmus in Hypothalamus, Hippocampus und Thalamus i.S. einer zeitlichen Steuerung sensumotorischer Prozesse wirkt (KOMISARUK 1977).

In der vorliegenden Arbeit ging es nicht um die Erhebung von Befunden zugunsten einer der skizzierten Modellvorstellungen, sondern um den Versuch, den Zusammenhang zwischen Alpha-Phase und RZ mit einer verbesserten Methodik zu überprüfen, wobei die Art dieses Zusammenhanges möglicherweise einen Hinweis auf die Funktion der zugrundeliegenden Verarbeitungsmechanismen geben würde.

II. Bisherige Untersuchungen zum Zusammenhang von occipitaler Alpha-Phase und Reaktionszeit =====

1. Befunde

Abb.1.(Seite 67)stellt das Modell einer Alpha-Periode dar, in der die Phasen, bzw. Phasenintervalle der einzelnen Autoren, die ihre Befunde detaillierter dargestellt haben, eingetragen sind, und auf die im Folgenden Bezug genommen wird. Zur besseren Vergleichbarkeit der Ergebnisse untereinander und mit den später darzustellenden aus meinen Versuchen werden die Angaben auf eine einheitliche Skala bezogen, die die Alpha-Periode mit dem Beginn im negativen Minimum in 100 gleichlange Abschnitte unterteilt. Bezogen auf eine durchschnittliche Alpha-Periode von 100 msec = 10 Hz repräsentiert die Einheit dieser Skala 1msec. Die Messung der sog. gereizten Alpha-Phase erfolgt stets zum Zeitpunkt der Reizgabe. Dieser Zeitpunkt liegt natürlich vor dem tatsächlichen Interaktionszeitpunkt der den Reiz repräsentierenden afferenten Impulse mit dem Alpha-Rhythmus, bzw. dem hypothetischen Erregungszyklus.

Einige Autoren haben eine Korrektur des jeweils gefundenen Zusammenhanges um einen entsprechenden Zeitbetrag, die 'retino-cortikale Leitungszeit' vorgeschlagen. Die Definition eines solchen Korrekturbetrages bedarf einiger Zusatzannahmen und ist von den einzelnen Autoren verschieden gehandhabt worden. Dieser Aspekt kann von der eigentlichen Fragestellung abgetrennt werden. Er wird weiter unten noch detaillierter diskutiert. Alle folgenden Ergebnisdarstellungen und -vergleiche beziehen sich auf die jeweils metrisch gewonnenen Zuordnungen zwischen RZ und Alpha-Phase zum Zeitpunkt der retinalen Reizeinwirkung.

WALSH (1952) und O'HARE (1954) versuchten als erste, einen Zusammenhang zwischen RZ und Alpha-Phase nachzuweisen - mit negativem Ergebnis. Beide hatten bipolare Ableitungen verwendet, WALSH dazu einen Bandpaß-Filter, um die Aktivität im Alpha-Band möglichst klar aufzuzeichnen. Dies wird in einem Abschnitt über die Registriertechnik im Zusammenhang mit Phasenmessungen zu diskutieren sein.

LANSING (1957) wählte aus 100 Personen acht aus, die bei offenen Augen und Fixation einen deutlich ausgeprägten Alpha-Rhythmus zeigten. Er unterteilte die Alpha-Periode in 6 gleichlange Abschnitte (vgl. Abb. 1.) und bildete die mittleren RZn für jeden der Abschnitte. Beim paarweisen Vergleich der Gruppenmittelwerte waren Phasenintervall 1 und Intervall 5 signifikant auf dem 1%-Niveau unterschieden. Da die Gesamttestung aller Mittelwerte insignifikant blieb, kommt diesem Befund nur eine eingeschränkte Bedeutung zu. In der weiteren statistischen Bearbeitung des Materials wählte LANSING 6 Versuchspersonen (Vpn) aus, bei denen jeweils die Phasen-Intervalle 1 und 2 die kürzesten und die Intervalle 4 und 5 die längsten Reaktionszeiten zeigten. Die selektive statistische Prüfung dieser beiden um 180^0 auseinanderliegenden Strecken ergab einen signifikanten Unterschied der mittleren RZn (Prüftest nicht angegeben). Eine solche willkürliche Datenauswahl scheint mir ebenfalls statistisch nicht ganz gerechtfertigt.

CALLAWAY & YEAGER (1960) konstruierten eine Apparatur, die die Reizapplikation in einer vorgewählten Phase der Alpha-Periode ermöglichte, allerdings mit einem erheblichen Placierungsfehler von bis zu 15 msec, wobei die einzelnen Phasen definitionsgemäß 10 msec auseinander lagen. Damit untersuchten sie auch Vpn mit "nur mäßig dominanter Alpha-Aktivität", wobei sie nacheinander Blocks von 10 - 20 Reizen in der gleichen Phase gaben. Um die sog. schnellste gegen die 'langsamste' Phase statistisch testen zu

können ohne den LANSING'schen Selektionsfehler zu begehen, machten sie nach einer Vorserie eine Voraussage, die sie im darauffolgenden Hauptversuch überprüften. Die individuelle statistische Prüfung (einseitige Fragestellung) zeigte bei 6 von 8 Vpn einen signifikanten Unterschied zwischen vorausgesagtem schnellstem und langsamstem Phasen-Intervall. Die Autoren stellten fest, daß in der Regel die längsten RZn bei Reizung im occipitalen positiven Maximum auftraten, wo auch im LANSING'schen Experiment die längsten Zeiten gelegen hatten.

1961 beschrieb CALLAWAY in sehr knapper Form Ergebnisse, die bei der Untersuchung nur einer Vp an mehreren Tagen gewonnen worden waren. Die statistische Prüfung mit einer 3×10 Varianzanalyse (3 Tage und 10 Phasen) ergab eine knapp signifikante Interaktion zwischen Tag und Phase, die CALLAWAY im Sinne von Tagesschwankungen im Alpha-Phasen-RZ-Zusammenhang interpretierte.

In einer 1962 erschienenen Arbeit versuchte CALLAWAY dann, an 2 Vpn nachzuweisen, daß die Phasen-RZ-Beziehung auch eine signifikante intraindividuelle Stabilität über mehrere (11 bzw. 8) Untersuchungstage hinweg zeigt. Er bestimmte an jedem Untersuchungstag die 4 schnellsten und die 4 langsamsten seiner 10 Phasenintervalle, teilte - wohl nach Abschluß der Experimente - die gesamte Periode in zwei gleichlange Strecken ein und fand bei beiden Vpn auf dem 1%-Niveau signifikante Unterschiede in der Häufigkeit, mit der die Phasenintervalle der beiden Hälften an den verschiedenen Tagen als schnell bzw. langsam klassifiziert worden waren. Die langsamsten RZn der Vpn lagen etwa im Intervall 2 bzw. 8 (vgl. Abb. 1., Seite 67). CALLAWAY vertritt in dieser Arbeit die Auffassung, daß der Unterschied der mittleren RZn von schnellsten und langsamsten Intervallen i.a. etwa 6 msec. betrage und meint, daß bei exakter Placierung der Reize in diesen Intervallen eine Differenz von höchstens 10 msec gemessen

werden könnte. Eine weitere Schlußfolgerung CALLAWAYS aus seinen Befunden ist, daß es keine deutliche inter-individuelle Konsistenz in der Alphaphasen-RZ-Beziehung gebe.

DUSTMAN & BECK (1965) untersuchten 20 Vpn mit "sufficiently prominent alpha activity" und unterteilten die Alpha-Periode in 6 gleichlange Phasenintervalle (vgl. Abb. 1.). Bei der automatischen Reizplacierung in das jeweils vorgewählte Phasenintervall wurde die individuelle mittlere Alphaperioden-Dauer berücksichtigt. Es wurden nur etwa 30 Trials pro Phasenintervall und Vp ausgewertet. Die gruppenstatistische Prüfung der mittleren RZn pro Phasenintervall mittels Varianzanalyse ergab einen auf dem 2,5%-Niveau signifikanten Zusammenhang des gereizten Phasenintervalls mit der RZ. Der Unterschied zwischen dem schnellsten und dem langsamsten Phasenintervall betrug 6,3 msec. Die Reaktionszeiten in Intervall 6 waren signifikant kürzer als die der Intervalle 1, 2 und 4, die in Intervall 5 signifikant kürzer als die in Intervall 2 (alle 5%-Niveau).

2. Kritische Betrachtung der Experimente

a) Versuchspersonen-Auswahl

In der Regel sind für die hier diskutierten Experimente solche Vpn ausgewählt worden, die einen mehr oder weniger stark ausgeprägten Alpha-Rhythmus aufwiesen, d.h. eine hohe Synchronisationsneigung der zugrundeliegenden corticalen Alpha-Generatoren. Für diese Auswahl waren bisher lediglich praktische Gesichtspunkte einer optimalen Messbarkeit der Alpha-Phase entscheidend. Die meisten Autoren haben Vpn "mit deutlich ausgeprägtem Alpha-Rhythmus" verwendet. Genauere Angaben machen CALLAWAY & YEAGER (1960), die mit ihrer automatischen Phasendefinition auch Vpn mit "moderate alpha", d.h. etwa ein Drittel der Normalpopu-

lation untersuchen konnten, und LANSING, der aus über 100 Vpn 8 auswählte, die bei Fixation, also offenen Augen, "dominant alpha rhythms" hatten. Inwieweit die Synchronisationsfähigkeit, bzw. der zur jeweiligen Reizzeit mehr oder weniger synchronisierte EEG-Zustand den Phasen-RZ-Zusammenhang beeinflussen könnte, ist dabei nicht diskutiert worden.

Aus allen bisherigen Versuchen, die von den betreffenden Autoren mit einiger Ausführlichkeit dargestellt worden sind, wird deutlich, daß die interindividuelle Übereinstimmung in den gefundenen Zusammenhängen zwischen RZ und gereizter Alpha-Phase auch bei gleicher experimenteller Anordnung gering ist. LANSING (1957) fand, daß 4 seiner 8 Vpn in den Intervallen 6-1-2 die kürzesten RZn hatten, 2 in den Intervallen 1-2-3, die restlichen 2 unterschieden sich voneinander wie auch von den beiden erstgenannten 'Gruppen' A und B. DUSTMAN & BECKS (1965) Gruppenmittelwerten über 20 Vpn liegen ebenfalls z.T. sehr heterogene Einzelverläufe zugrunde. Diese und eigene Erfahrungen haben sich bereits in den Versuchsplänen von CALLAWAY und Mitarb. niedergeschlagen, die häufig Einzeluntersuchungen machten. CALLAWAY (1962) und CALLAWAY & LAYNE (1964) haben explizit die Auffassung geäußert, daß es keine eindeutige interindividuelle Konsistenz gebe. LANSING (1957) vermutete, die interindividuellen Unterschiede könnten auf verschiedenartiger Leitungsgeschwindigkeit beruhen.

Für die Divergenz der dargestellten Befunde dürften neben den unterschiedlichen experimentellen Anordnungen und den intraindividuellen Tagesschwankungen (CALLAWAY 1961, 1962) also auch die mangelnde interindividuelle Konsistenz der Zusammenhänge und die Methoden der Vpn-Auswahl entsprechend verschiedener EEG-Kriterien verantwortlich sein.

b) Reizbedingungen

Experimentelles Paradigma war bisher stets der einfache RZ-Versuch, und zwar - mit Ausnahme von O'HARE (1954) - ohne Warnreiz. Obwohl die Verwendung eines Warnreizes dazu beitragen würde, die für die gegebene Fragestellung unspezifische RZ-Variation zu reduzieren, verzichtete man auf ihn, da man eine erhebliche Desynchronisation zum Zeitpunkt des imperativen Reizes befürchtete (z.B. CALLAWAY 1962).

Als Reize wurden - außer von O'HARE - Lichtblitze verwendet, deren Dauer bei allen Versuchen, außer denen von WALSH und O'HARE, im Mikrosekunden-Bereich lag. Die Verwendung von sehr kurzen Reizen ist in diesen Versuchen indiziert, da längere Reize auf größere Teile der Alpha-Periode Einfluß nehmen würden. Mit Ausnahme von WALSH, der exzentrisch vom Fixationspunkt reizte, lag allen Autoren an einer gleichmäßigen Ausleuchtung des ganzen Gesichtsfeldes. In allen Versuchen saßen die Vpn in einem abgedunkelten Raum, die Reizung erfolgte bei geschlossenen (CALLAWAY und Mitarb.) oder offenen Augen (alle anderen Autoren). Die Verschiedenheit der verwendeten Reizintensitäten und -arten, die nach CALLAWAY (1962) nicht nur die RZ an sich, sondern auch den RZ-Phasen-Zusammenhang beeinflussen soll, schränkt die Möglichkeit, die Ergebnisse der verschiedenen Laboratorien zu vergleichen, weiterhin erheblich ein.

Es ist wichtig, bereits an dieser Stelle zwei grundverschiedene Arten der Reiz-Phasen-Zuordnung zu unterscheiden, da eine der beiden einen Einfluß auf die Größe bzw. die Verteilung der Intertrial-Intervalle hat:

- (1) In der sog. a posteriori - Reiz-Phasen-Zuordnung werden die Reize in vor dem Experiment festgelegten Intervallen appliziert (z.B. Zufallsfolge), die

Intertrial-Intervalle sind also vom jeweiligen EEG-Zustand unabhängig. Nach dem Experiment wird anhand der aufgezeichneten EEG-Kurven und Reizzeitpunkte für jedes Trial die Phase gemessen, in die der Reiz gefallen ist. Da diese Zuordnung in den ersten Experimenten von WALSH, O'HARE und LANSING per Hand vorgenommen wurde, konnten subjektive Auswerter-Einflüsse nicht ausgeschlossen werden.

- (2) Aufgrund dieser Überlegung entwickelten CALLAWAY und Mitarbeiter, und später auch DUSTMAN & BECK, Methoden einer a priori-Reiz-Phasen-Zuordnung, wobei im Experiment in einer vorgewählten Phase automatisch gereizt wird. Mit dieser Änderung in der Methode der Reiz-Phasen-Zuordnung wurde allerdings eine Ungenauigkeit durch eine andere ersetzt, die durch die Unmöglichkeit, die jeweils vorliegende Alpha-Phase on-line exakt zu bestimmen, gegeben ist. Dieser Gesichtspunkt wird unter Punkt d)'EEG-Analyse' dieses Kapitels (Seite 17) ausführlicher diskutiert. Hier ist lediglich wichtig, daß in den Experimenten von CALLAWAY und Mitarb. und in dem von DUSTMAN & BECK der Zustand des EEGs einen Einfluß auf den Zeitpunkt der Reizgabe hatte, indem nur bei Vorhandensein eines automatisch definierten EEG-Zustandes (ausgeprägter Alpha-Rhythmus) gereizt wurde. Eine Reizapplikation in zufälligen Intertrial-Abständen ist bei dieser Methode nicht mehr gegeben, ja es ist sogar sehr wahrscheinlich, daß - wie ich in Vorversuchen mit einem automatischen Alpha-Aktivitäts-Detektor festgestellt habe - häufiger am Beginn einer Synchronisationsphase gereizt wird, d.h. die Vp den Zeitpunkt der Reizgabe wesentlich mitbestimmt. Es ist allerdings nicht zu entscheiden, ob diese Art der Reizapplikation einen systematischen Einfluß auf die jeweils gefundenen RZ-Phasen-Beziehungen hatte.

Das mittlere Intertrial-Intervall in den hier dargestellten Experimenten lag zwischen 6 und 15 sec. In der Regel wurden, um Ermüdungseinflüssen auf die RZ vorzubeugen, kürzere Serien von 10 bis 40 Trials gegeben, zwischen denen Ruhepausen lagen. In den Experimenten mit a priori-Reiz-Phasen-Zuordnung wurden Blocks von Reizen in der jeweils vorgewählten Phase gegeben, wobei die verschiedenen Phasen wiederum randomisiert (DUSTMAN & BECK) bzw. in auf- und absteigender Reihe (CALLAWAY und Mitarb.) aufeinanderfolgten. Eine statistische Kontrolle serieller Positionseffekte wird nur von DUSTMAN & BECK angegeben.⁺⁾

c) Reaktionszeitmessung

Die Autoren der bisherigen Arbeiten sind, falls sie sich zu diesem Thema ausführlicher geäußert haben, durchweg der Auffassung, daß die größten zu erwartenden Unterschiede zwischen den mittleren RZn einzelner Phasen-Intervalle i.a. bei 6 msec liegen. Die in RZ-Experimenten auftretende Streuung ist regelmäßig ein Vielfaches dieses Betrages. Wenn das Verhältnis von spezifischen und unspezifischen Varianzanteilen der abhängigen Variablen so ungünstig ist wie im vorliegenden Fall, so kommt der experimentellen Bedingungskontrolle, der Meßmethode und auch der post-experimentellen Elimination von für die statistische Analyse ungeeigneten Trials erhöhte Bedeutung zu.

Inwieweit in RZ-Experimenten ubiquitäre Trainingseffekte, Motivationseinflüsse und habituelle Einstellungen (sensorischer oder motorischer Set) experimentell kontrolliert wurden, ist in den besprochenen Arbeiten kaum diskutiert

^{+) DUSTMAN & BECK eliminierten diese Effekte kovarianz-analytisch; die in Abb. 1. dargestellte Kurve beruht auf den entsprechend adjustierten Meßwerten.}

worden. Wie bereits erwähnt, wurde Ermüdungserscheinungen in der Regel durch Fraktionierung der Serien in Blocks mit dazwischenliegenden Ruhepausen vorgebeugt.

Für die Messung der RZn wurde meist der Schaltimpuls der verwendeten Taste (Morsetaste oder Mikroswitch) benutzt, mit zwei Ausnahmen: LANSINGs Vpn hielten den Reaktionsfinger auf einem beweglichen Hebel, sodaß über eine bewegungsentsprechende Photozellenaktivierung der Fingertremor registriert werden konnte. Bei der Reaktionsbewegung trat eine Deflektion in der Tremor-Registrierung auf, an der - offensichtlich aufgrund visueller Beurteilung und per Handauswertung - der Reaktionszeitpunkt definiert wurde. Die von LANSING publizierte Abb. 1. läßt vermuten, daß die mit dieser Methode erreichbare Messgenauigkeit gering ist. DUSTMAN & BECK verwendeten zwar eine konventionelle Reaktionstaste, definierten jedoch als Reaktionszeitpunkt den Beginn eines am M.abductor pollicis brevis gemessenen Bewegungsartefakts. Sie geben für diese Methode eine Meßgenauigkeit von 1 msec an.

In RZ-Experimenten werden häufig extrem lange Zeiten gemessen, die in der Regel als 'Ausreißer-Werte' betrachtet und eliminiert werden. Eine entsprechende Grenze wurde nur in zwei der hier diskutierten Experimente definiert: CALLAWAY & YEAGER (1960) eliminierten alle Trials mit RZn über 300 msec, unabhängig von den individuellen Verteilungen, DUSTMAN & BECK die langsamsten 20% pro Phasenintervall und Individuum, unabhängig von der individuellen Häufigkeit extremer Werte. Wie vollständig mit diesen recht willkürlichen Grenzwert-Definitionen die unerwünschte Einflußgröße "sleeping at the switch" (DUSTMAN & BECK) eliminiert wurde, muß offen bleiben, da es denkbar erscheint, daß diese Größe, die man vielleicht besser summarisch als kurzphasige Aufmerksamkeitsschwankung bezeichnen könnte, auch die übrigen RZn mehr oder weniger beeinflusst.

Nicht alle Autoren machen Angaben über die Anzahl der in der statistischen Analyse verwendeten Trials. LANSING registrierte 100-200 Trials je Vp, CALLAWAY & YEAGER (1960) 120-130 Trials je Vp und Phasenintervall, DUSTMAN & BECK 40 Trials je Vp und Phasenintervall.

d) EEG-Analyse

Art und Genauigkeit der verwendeten EEG-Analyse bzw. Alpha-Phasen-Definition sind für die vorliegende Fragestellung von entscheidender Bedeutung. Hierbei ist zu bedenken, daß die kritische Frage der Repräsentativität des am Schädel abgeleiteten Alpha-Rhythmus für die Aktivität der an der Verarbeitung des jeweiligen Reizes beteiligten kortikalen Areale nicht empirisch beantwortet werden kann, was speziell auch für Phasendefinitionen gilt. Dieses Problem ist in der hier diskutierten Literatur nicht behandelt worden. Wenn auch ein direktes Kriterium für die Repräsentativitäts-Beurteilung nicht verfügbar ist, so gibt es doch einige indirekte Beurteilungsmöglichkeiten.

Bipolare EEG-Ableitungen, wie sie von WALSH & O'HARE ausschließlich und von LANSING und CALLAWAY & YEAGER teilweise verwendet wurden, dürften für Phasenuntersuchungen, die sich jeweils nur auf einen Punkt des Schädels beziehen, generell unbrauchbar sein (COOPER 1973). In den hier diskutierten Arbeiten sind die Angaben über die verwendeten aktiven sowie Referenz-Elektroden meist sehr ungenau: "over the occipital cortex" (LANSING), "left occipital area" (CALLAWAY & YEAGER 1960), wobei in diesen beiden Arbeiten nicht deutlich wird, ob für alle Vpn vergleichbare occipitale Positionen und Referenzelektroden verwendet wurden. Genaue Angaben machen lediglich DUSTMAN & BECK, die ihre aktiven Elektroden bilateral 3 cm neben und über dem Inion platzierten und jeweils ein Ohr als Referenz benutzten.

Neben der Verwendung von bipolaren Ableitungen bzw. Referenzelektroden mit substantieller Eigenaktivität muß

die Benutzung von EEG-Filtern als kritisch bezeichnet werden, da sie außer einer generellen Veränderung des Kurvenbildes, also auch der Zeitpunkte von Nulldurchgängen und Spannungsmaxima, eine mehr oder weniger große frequenzabhängige Phasenverschiebung mit sich bringen. Analoge EEG-Filter wurden in den Arbeiten von WALSH und CALLAWAY & Mitarbeitern eingesetzt.

Unter Punkt b) 'Reizbedingungen' dieses Kapitels (Seite 13) wurde bereits auf die beiden Arten der Reiz-Phasen-Zuordnung hingewiesen. Die ursprünglich verwendete Technik (WALSH, O'HARE, LANSING) war, die Reize zunächst unabhängig vom jeweiligen EEG-Zustand zu geben und nach dem Experiment anhand der Papierregistrierung von EEG-Kurve und Reizmarke per visueller Inspektion die Phase der jeweiligen Alpha-Welle zu definieren (a posteriori-Reiz-Phasen-Zuordnung). Angaben über die hierbei verwendeten Meßtechniken, die in Anbetracht der Formvariabilität der Alpha-Wellen besondere Bedeutung haben, werden nicht gemacht. Subjektive Einflüsse des Auswerterers sind bei dieser mangelhaft standardisierten Methode kaum zu vermeiden. Aus diesem Grund entwickelten CALLAWAY & Mitarbeiter und später DUSTMAN & BECK Methoden, mit denen sie während des Experiments das Vorhandensein von Alpha-Aktivität feststellen und in einem vorgewählten Phasenintervall reizen konnten (a posteriori-Reiz-Phasen-Zuordnung). Bei diesen Methoden, die auf analogen Amplituden- und Periodenanalysen beruhen, konnten feinere Merkmale der jeweils vorliegenden Alpha-Wellen nur wenig berücksichtigt werden. So definierte CALLAWAY in allen hier angeführten Experimenten den Reizzeitpunkt, indem er entsprechend seiner 10-msec Phasenintervall-Einteilung dem automatisch festgestellten negativen Minimum der Alpha-Welle ein 10, 20, 30 usw. msec langes Latenzintervall folgen ließ, dessen Ende dann den Reiz auslöste. Hierbei blieben Abweichungen der einzelnen Alpha-Wellen von der zugrundegelegten 100-msec Periode vollkommen unberücksichtigt. Zwangsläufig werden bei dieser Methode die Kriterien für

die Feststellung einer Alpha-Welle stets auf die der gereizten Welle vorangehende Welle angewendet und nicht auf die gereizte selbst. DUSTMAN & BECK verwendeten einen ähnlichen analogen Triggermechanismus, der die Übereinstimmung der Frequenz der vorliegenden Welle mit der dominanten Alphafrequenz der jeweiligen Vp berücksichtigen sollte. Die Autoren stellten fest, daß die Übereinstimmung zwischen automatisch vorgewählter und nachträglich gemessener Alpha-Phase gering war: "... rather than being triggered at a specific point on the alpha wave, the light was triggered within an interval of 5-10 msec before or after the preset time." Sie benutzten deshalb für die statistische Datenanalyse die nachträglich gemessenen Phasenwerte, machen aber keine genauen Angaben über die entsprechende Meßmethode. CALLAWAY & Mitarbeiter geben für ihre automatische Phasendefinition einen Platzierungsfehler von 10-15 msec an. Zusammenfassend läßt sich sagen, daß die Zuverlässigkeit der Phasenmessung mit Bezug auf den Reizzeitpunkt in allen bisherigen Experimenten sehr gering war.

Die vorgenannten Gesichtspunkte sind wesentlich meßtechnischer Art und haben damit nur mittelbar Bezug zur Frage der Repräsentativität der am Schädel erfaßten Alpha-Wellen für die an der Reizverarbeitung beteiligten kortikalen Areale. Diese Frage ist in der Literatur zum Zusammenhang von Alpha-Phase und RZ bisher nicht behandelt worden. Wie bereits in der Einleitung (Seite 3f.) dargestellt, scheint es mir plausibel, daß der Schädel-Alpha die entsprechenden kortikalen Areale am ehesten in Zeiten höherer kortikaler Synchronisation repräsentiert. Die würde bedeuten, daß die Alpha-Amplitude bereits experimentell bzw. in der Datenanalyse als Kriterium für die Entscheidung über die Reizapplikation bzw. für die spätere Trialselektion zu berücksichtigen wäre.

3. Daten-Interpretation

In Anlehnung an die Arbeit von BISHOP (1933) haben LANSING, CALLAWAY & ALEXANDER (1960), CALLAWAY (1962) und DUSTMAN & BECK ihre Befunde im Sinne einer mit den periodischen Schwankungen des Alpha-Rhythmus zusammenhängenden zyklischen Erregbarkeitsänderung des occipitalen Cortex interpretiert; CALLAWAY (1961) sprach von einem möglichen 'inhibitory cycle'. Im Rahmen dieses Interpretationskonzeptes deuten schnellere Reaktionszeiten darauf, daß die dem Reiz entsprechenden neuronalen Impulse zu einem Zeitpunkt größerer Erregbarkeit am Cortex eingetroffen sind. Um diesen Zeitpunkt der corticalen Interaktion von afferenten Impulsen und Erregungszyklus (Alpha-Rhythmus) zu definieren, berücksichtigten LANSING und DUSTMAN & BECK Korrekturbeträge für die sog. retino-cortikale Leitungszeit.

LANSING orientierte sich an Angaben von MONNIER (1952) und nahm 35 msec als Korrekturbetrag. Dies würde - auf seine Ergebnisse bezogen - bedeuten, daß der Cortex kurz vor dem negativen Minimum der Alpha-Periode die geringste und etwa um den Nulldurchgang zum positiven Maximum die größte Erregbarkeit hätte (vgl. Abb. 1., Seite 67). DUSTMAN & BECK fanden in ihrer Stichprobe, daß die erste positive Komponente des visuellen evozierten Potentials (mittlere Peak-Latenz 57 msec) positiv mit der mittleren RZ korrelierte; diese Komponente wurde deshalb "chosen to represent the interval of time critical for an interaction of incoming afferent stimulation (neural impulses initiated by the flash) and fluctuating cortical activity associated with alpha rhythm." Diese 57 msec gingen dann als Korrekturbetrag in die RZ-Phasenbeziehung ein. Nach der Korrektur lagen die zwei Phasenintervalle mit den schnellsten RZn unmittelbar vor dem negativen Minimum der Alpha-Periode. Dieser Befund, der i.S. einer größeren Erregbarkeit des Cortex während der Negativierungsphase der

Spontanaktivität interpretiert werden kann, stimmt zwar mit den am Tier-Cortex gewonnenen Ergebnissen von BISHOP (1933), CHANG (1951) u.a. überein, nicht allerdings mit denen von LANSING und CALLAWAY & YEAGER (1960); (vgl. Abb. 1.).⁺)

Es wurde bereits darauf hingewiesen, daß es sich bei dem über einem gegebenen Schädelpunkt ableitbaren Alpha-Rhythmus nicht eindeutig um die direkte Repräsentation einer definierbaren kortikalen Funktionseinheit handeln kann; somit kann dieser Alpha-Rhythmus auch nicht mit der durch die Erscheinungsform der erfaßten Potentiale suggerierten Einheitlichkeit einem kortikalen 'Erregungszyklus' genau entsprechen. Aus den genannten Mittelungseigenschaften der zwischen Cortex und Skälpelektrode liegenden Medien (vgl. Seite 3) ergibt sich m.E., daß der jeweils - möglichst hochsynchronisiert - abgeleitete Alpha-Rhythmus die mit dieser Registriertechnik einzig- und deshalb bestmögliche Schätzung des Spannungsverlaufs der im Einzugsbereich der Elektrode liegenden kortikalen Areale darstellt. Bei der Interpretation experimentell gefundener Zusammenhänge zwischen Alpha-Phase und visueller Reaktionszeit im Sinne von "some cortical excitability cycle paralleling the recordable EEG alpha rhythm" (CALLAWAY 1962) sollte diese im funktionalen Sinne artifizielle Natur des EEG-Alpha-Rhythmus bedacht werden.

In Anbetracht der Tatsachen, daß die Phasenintervalle mit den schnellsten bzw. langsamsten RZn, die in den verschiedenen Laboratorien gefunden wurden, sich teilweise erheblicher als die Verschiedenartigkeit der experimentellen Bedingungen erwarten läßt unterscheiden (vgl. Abb. 1.),

+) Alle in Abb. 1. dargestellten RZ-Phasen-Zusammenhänge sind unkorrigiert i.S. der retino-cortikalen Leitungszeit. Die Korrektur entspräche einer einfachen Verschiebung der RZ-Kurven nach rechts gegenüber der abgebildeten Alpha-Periode, und zwar um 35 msec (LANSING), bzw. 57 msec (DUSTMAN & BECK).

und daß vor allem unter den gleichen experimentellen Bedingungen untersuchte Individuen um ca. 180° verscho-bene 'schnellste' und 'langsamste' Phasenintervalle auf-weisen können (z.B. CALLAWAY 1962), scheint es wenig sinnvoll, nach verallgemeinerbaren Korrekturmöglichkeiten für die sog. retino-cortikale Leitungszeit zu suchen.

Vielmehr erscheint es aufgrund der Divergenz der bisher vorliegenden Befunde, der deutlichen Belege für die ge-ringe interindividuelle Übereinstimmung in der Beziehung von Phase und RZ, sowie in Anbetracht der erheblichen Ungenauigkeit der bisherigen Messmethoden ratsam, die Grundannahme eines Zusammenhanges zwischen RZ und Alpha-Phase zum Zeitpunkt der (retinalen) Reizeinwirkung mit einer verbesserten Methodik einzelfallstatistisch erneut zu überprüfen.

III. Versuchsplanung, experimenteller Aufbau und Versuchsdurchführung

=====

1. Versuchsplanung

In Anbetracht der vorliegenden Erfahrungen über die erhebliche interindividuelle Variabilität des RZ-Phasen-Zusammenhanges bietet die Einzelfall-Untersuchung, wie sie bereits in einigen der vorgehend besprochenen Versuche verwendet wurde, bessere Möglichkeiten zur Überprüfung der Grundhypothese, als die zusammenfassende Verarbeitung der Ergebnisse aus einer größeren Vpn-Stichprobe. Die wiederholte Untersuchung einiger Vpn an mehreren Tagen sollte zu einer möglichst großen Zahl von auswertbaren Trials pro Vp führen. Dies schien unter mehreren Gesichtspunkten wünschenswert: (1) würde sich die größere Trialzahl günstig auswirken i.S. der statistischen Absicherung der zu erwartenden geringen Unterschiede zwischen den mittleren RZn einzelner Phasenintervalle bei gleichzeitig erheblicher Zufallsvariation; (2) würde die größere Trialzahl eine Unterteilung der Alpha-Periode in kleinere Phasenintervalle (mit genügend großem N) erlauben; und (3) wäre eine postexperimentelle Elimination von Trials möglich, sodaß die RZ-Phasen-Beziehung selektiv unter bestimmten EEG-Bedingungen überprüfbar würde.

Bezüglich der Messung der Alpha-Phase zum Zeitpunkt des Reizes hatte sich in allen bisherigen Untersuchungen gezeigt, daß die On-line Definition in hohem Maße unzuverlässig war. Deshalb wurde für die vorliegende Untersuchung das ursprüngliche LANSINGSche Modell einer postexperimentellen Phasen-Definition geplant, in dem die Reizfolge vom EEG unabhängig ist. Auswertereinflüsse auf die Phasenmessung sollten durch eine vollkommen automatisierte Computer-Auswertung ausgeschlossen werden.

Mit der post-experimentellen EEG-Analyse sind weitere Vorteile verbunden: (1) kann die Größe der Phasen-Intervalle prinzipiell beliebig gewählt und geändert werden; (2) kann der Phasenmessung die tatsächlich zum Zeitpunkt der (retinalen) Reizeinwirkung vorliegende Welle zugrunde gelegt werden, und nicht die vorübergehende (vgl. Seite 19); (3) können komplexe EEG-Kriterien bei der Trialsauswahl für die Statistik berücksichtigt werden, die on-line aus Zeitgründen nicht erstellbar sind. Hier ist vor allem an die Beurteilung des bisher vernachlässigten EEG-Ausgangszustandes gedacht, d.h. etwa der mittleren Alpha-Frequenz, -Amplitude und -Häufigkeit in einem bestimmten Intervall vor der Reizgabe.

Da der mögliche Beitrag der cortikalen Erregbarkeits-Schwankungen, die der Alpha-Rhythmus repräsentieren soll, zur Gesamtvariation der RZn von vornherein als sehr gering zu veranschlagen war, mußte schon in Versuchsplanung und -durchführung ein besonderer Wert auf die Reduktion der für die Fragestellung unspezifischen Variation gelegt werden. Abgesehen von der in RZ-Experimenten i.a. notwendigen Kontrolle von Übungs-, Ermüdungs-, Motivations- und Einstellungseffekten, die im Zusammenhang mit der Versuchsdurchführung dargestellt wird, war zu erwarten, daß die Einführung eines Warnreizes die RZ-Variabilität erheblich reduzieren würde. Für die vorliegende Arbeit wurde deshalb ein periodisches Reizprogramm gewählt, d.h. die Lichtreize wurden, innerhalb eines Trialblocks, im konstanten Abstand von 4 sec gegeben, sodaß jeder Reiz gleichzeitig als Warnreiz für den darauffolgenden diente.

Aus den Ergebnissen von TÄUMER et al. (1970), die die visuellen RZn in Versuchen mit periodischen und zufälligen Interstimulus-Intervallen (ISI) unter systematischer Variation der mittleren ISI-Länge untersuchten, geht hervor, daß geringere Standardabweichungen bei kürzeren ISIs und periodischer Stimulation zu erwarten sind. Ein besonderer und prinzipiell nicht vermeidbarer Nachteil der periodischen

Reizgabe, die verstärkte Neigung der Vpn zu vorschnellen Reaktionen, tritt nach den Erfahrungen dieser Arbeitsgruppe vor allem bei sehr kurzen ISIs von weniger als ca. 1,5 sec auf. Ein ISI von 4 sec ergibt (a) einen genügenden Sicherheitsabstand zu dieser kritischen Zeit, obwohl es, auch bei entsprechender Instruktion der Vp, vorschnelle Reaktionen nicht völlig ausschließt, liegt (b) noch innerhalb des für die motorische Präparation optimalen Intervalls zwischen Warn- und Signalreiz (1-4 sec nach BILLS 1961), und ermöglicht (c) bei an die experimentelle Situation gewöhnten Vpn eine vollständige Resynchronisation des Alpha-Rhythmus im ISI.

Mit Ausnahme von O'HARE (1954) hatten bisher alle Experimentatoren auf die Verwendung eines Warnreizes verzichtet, da sie eine erhebliche Desynchronisation zum Zeitpunkt des Signalreizes befürchteten. Neuere Experimente haben bestätigt, daß die Alpha-Amplituden-Verläufe im ISI bei RZ-Experimenten mit Warnreiz in hohem Maße von Instruktion und Reaktionsbedingungen abhängig sind, und daß gerade in dem hier diskutierten S1 - S2 - Paradigma mit der Instruktion: Reaktion auf jeden S2, sich die paarungsabhängige präparatorische Desynchronisation unmittelbar vor dem S2 schnell zurückbildet (GRÜNEWALD-ZUBERBIER et al., 1978). Entsprechendes hatte sich bereits in den Vorversuchen zu den hier darzustellenden Experimenten gezeigt.

Der Tradition und meinen eigenen Überlegungen zur Repräsentativität des Alpha-Rhythmus für die Aktivität der relevanten kortikalen Areale folgend, wurden Vpn ausgewählt, die eine überdurchschnittlich hohe occipitale Synchronisationsfähigkeit im Alpha-Bereich und zudem einen unter den experimentellen Bedingungen hohen zeitlichen Prozentsatz von Alpha-Aktivität zeigten. Da die Verwendung analoger Filter generell ausgeschlossen wurde, mußte ein besonderes Augenmerk auf EEG-Aufzeichnungen mit möglichst geringer Artefaktkontamination (Grundlinienschwankungen,

Muskelpotentiale) gelegt werden. Dieser Gesichtspunkt führte im Verlauf der Hauptuntersuchungen dazu, daß eine der ursprünglich vier Vpn aus der weiteren Versuchsaufnahme und generell aus der Datenanalyse ausgeschlossen werden mußte. Bei den drei verbleibenden Vpn handelte es sich um zwei Studenten (H.N., 26 Jahre und T.S., 21 Jahre) und einen Universitätsprofessor (G.G., 50 Jahre). Alle waren Rechtshänder und hatten reichliche Vorerfahrungen als Vpn in Experimenten mit EEG-Ableitungen.

Für die Datenanalyse war geplant, neben den beiden Haupt-Variablen Alpha-Phase und RZ eine Reihe von EEG-Parametern zu erheben, die eine genaue Beurteilung des EEG-Zustandes der einzelnen Trials erlauben würde. Diese Merkmale sollten eine Trialelimination vor der statistischen Verarbeitung zum Zweck einer Überprüfung des RZ-Phasen-Zusammenhanges unter homogenen EEG-Bedingungen ermöglichen. Allgemein sollten dadurch Trials mit nicht hochsynchronisiertem Alpha-EEG ausgeschlossen werden, speziell schien es wünschenswert, Trials ausschließen zu können, in denen in einer relativ desynchronisierten EEG-Strecke nur eine oder 2 Alpha-Wellen vorkamen, die Amplitude der gereizten Welle relativ gering war und/oder die Periode der gereizten Welle im Grenzbereich des Alpha-Frequenzbandes lag.

Die inferenzstatistische Datenanalyse sollte i.S. der Fragestellung darüber Auskunft geben, grundsätzlich ob sich bei den einzelnen Vpn die mittleren RZn der einzelnen Phasen-Intervalle unterscheiden und, bei einem positiven Ausgang dieser Frage, in welchen Intervallen jeweils die schnellsten bzw. langsamsten RZn auftreten. Ferner sollten Verlaufsmerkmale des RZ-Phasen-Zusammenhanges ermittelt werden. Von der statistischen Differenziertheit der Datenstruktur würde es abhängen, ob die jeweiligen Verläufe Hinweise auf einen systematischen Zusammenhang zwischen Alpha-Phase (Erregungszyklus-Zustand) und RZ geben könnten. An statistischen Verfahren sollten einfaktorielle Varianzanalysen mit anschließenden Einzelvergleichen der Phasenmittelwerte und Trendanalysen verwendet werden.

2. Versuchsaufbau

Während des Versuchs saß die Vp in einem bequemen Sessel mit gepolsterten Armlehnen und Kopfstütze. Der Zeigefinger der rechten Hand lag auf einer Morsetaste und mußte auf das Erscheinen des Lichtblitzes hin so schnell wie bei der eingeübten, grundsätzlich entspannten Körperhaltung möglich, gehoben werden. Die Augen blieben während des Versuchs geschlossen, um ein möglichst synchronisiertes Alpha-EEG zu gewährleisten.

Der Raum war abgedunkelt. In Augenhöhe und 1 m Abstand von den Augen der Vp waren unmittelbar nebeneinander die Blitzröhre eines Grass Photic Stimulator (Modell PS II, Intensitätsstufe 2) und ein Projektor zur ständigen Ausleuchtung des Gesichtsfeldes montiert. Dieses Hintergrundlicht und die Stärke des Blitzes waren in Vorversuchen so aufeinander abgestimmt worden, daß sich der Blitz subjektiv deutlich von dem Licht abhob und das Licht wiederum sowohl die subjektive Wahrnehmung von Nachbildern auf den Blitz unterband als auch eine längere Dunkeladaptationsphase unnötig machte.⁺⁾ Die Vp trug einen nicht angeschlossenen Kopfhörer, der verhinderte, daß sie das Entladungsgeräusch der Blitzröhre wahrnehmen konnte.

Die Zündung des Blitzes in gleichbleibenden Abständen von 4 sec (± 1 msec) erfolgte über einen von der Fs. Burchardt (Ebringen) konstruierten elektronischen Zeitkreis. Dieses wie alle weiteren beschriebenen Geräte waren in einem mit dem Versuchsraum durch eine offene Tür verbundenen Nebenraum untergebracht, in dem sich auch der Versuchsleiter (Vl) aufhielt.

+) Hintergrundlicht: Leitz Pradovit mit 150 Watt Wendellampe und Graufilter 2.o. Die Leuchtdichte in 1 m Abstand betrug 2.50 Footlamberts. Die Blitzdauer betrug ca. 15 μ sec.

3. EEG-Ableitungen

Während des Experiments wurden mit einem Mingograf-Physiopolygraphen der Fa. Siemens Reiz- und Tastenzeitpunkt, ein vertikales EOG vom linken Auge, sowie 6 EEG-Ableitungen registriert. Alle physiologischen Größen wurden mit einer Zeitkonstante von 0.3 sec und einer oberen Grenzfrequenz von 30 Hz aufgezeichnet. Es wurden 6 unipolare EEG-Ableitungen registriert⁺): Vertex (Cz), C₃, C₄, Oz, O₁ und O₂, wobei für diese Arbeit nur die 3 occipitalen Ableitungen ausgewertet wurden. Als Referenz dienten die über Widerstände zusammengeschalteten Ohrläppchen. Diese sog. linked-ear-reference ergibt ein mittleres Referenzpotential der beiden Ohren, das einen Vergleich der Ableitungen von der linken und rechten Hemisphäre gestattet.

Die Standardableitungen O1 und O2 dienten der Registrierung der Aktivität über den Occipitalpolen der beiden Hemisphären. Sie wurden aufgezeichnet, da es aus mehreren Gründen wichtig erschien, die interhemisphärische Phasendifferenz zu beachten: Eine mehr oder weniger große Phasendifferenz zwischen homologen Punkten der beiden Hemisphären ist physiologisch, d.h. für ein gegebenes Trial mußte mit zwei mehr oder weniger unterschiedlichen Phasemessungen gerechnet werden. Es war nun einerseits denkbar, daß eine der beiden Ableitungen einen deutlicheren Phasen-RZ-Zusammenhang zeigen würde, andererseits konnte der Grad der jeweiligen Phasenübereinstimmung selbst, der ja wiederum ein Synchronisations-Phänomen kennzeichnet, von Einfluß auf den zu untersuchenden Zusammenhang sein. Die sog. Oz-Ableitung wurde gewählt, da dieser Punkt dem primären visuellen Projektionsgebiet auf der Medianfläche des Occipitallappens am nächsten liegt.

+) Die Bezeichnungen und Positionen entsprechen dem 10-20 System der Elektroden-Placierung (JASPER 1958), die sog. Oz-Ableitung dem o-Punkt zwischen O₁ und O₂.

Die Mitteilungen des VI über die im EOG sichtbaren Augenbewegungen erleichterten es den Vpn in den Voruntersuchungen, eine möglichst gleichbleibende Augenposition einzuüben.

Für alle registrierten Größen wurden Silber/Silberchlorid-Napfelektroden der Fa. H. Sachs (Hugstetten) verwendet.

Alle vorgenannten Ableitungen, mit Ausnahme des EOG, wurden parallel zur polygraphischen Registrierung auf einem 7-Kanal-Bandgerät (Bell & Howell VR 3300) für die spätere automatische Auswertung aufgenommen, wobei zwei Oscilloscope zur Überwachung der Aufnahmequalität zur Verfügung standen.

4. Erfahrungen aus den Vorversuchen

Mit den ursprünglich 4 Vpn wurden insgesamt 25 Hauptversuche aufgezeichnet, wobei aus Trainingsgründen bei den beiden in Vorversuchen noch weniger geübten Vpn H.N. und T.S. der erste bzw. die ersten beiden Versuche (ohne Wissen der Vp) nicht ausgewertet wurden. In die Datenanalyse kamen somit von diesen Hauptversuchen insgesamt 17; 6 von H.N., 6 von T.S. und 5 von G.G.. Gelegentlich mußte - während des Experiments - aufgrund von Einstellungsschwankungen der Vp gegen die Auswertung einzelner Trialblocks entschieden werden.

Diesen Hauptversuchen war eine Reihe von Vorversuchen vorausgegangen, die zur Aufstellung des endgültigen Versuchsaufbaus führten, sowie zu einer Festlegung der im Folgenden darzustellenden Versuchsparameter.

a) Die Einstellung ('mental set') der Vpn
zum Reiz-Reaktionsgeschehen

Ein wichtiger Aspekt des Experiments, der speziell in den Vorversuchen untersucht und dann während der Hauptversuche durch Befragung und Instruktion der Vpn kontrolliert wurde, betrifft die Einstellung der Vpn zur Aufgabe und zum Reizgeschehen. Es stand zu erwarten, daß sowohl ihre Konstanthaltung, als auch die spezifische Art dieser Einstellung für die Experimente von Bedeutung sein würden.

LOVELESS & SANFORD (1974) haben untersucht, inwieweit die klassischen Einstellungsformen 'sensory' und 'motor set' (LANGE 1888) die Dynamik der kurzphasigen EEG-Gleichspannungspotentiale im ISI beim einfachen Konditionierungsparadigma beeinflussen. Sie fanden eine erheblich höhere (negative) E-Wellen-Amplitude unmittelbar vor dem S2 bei instruktionsinduziertem motorischen vs. sensorischen Set. Ihr ISI betrug, wie in meinem Phasen-Versuch, 4 sec. Auch die Ergebnisse von KNOTT (1939) sprechen für eine Abhängigkeit zentralnervöser präparatorischer Prozesse vom mental set der Vpn.

Ein motorischer Set wird regelmäßig durch die Instruktion erzielt, mit maximaler Schnelligkeit auf den Reiz zu reagieren und dabei auch vorschnelle Reaktionen in Kauf zu nehmen, während die Vp zur Erreichung eines sensorischen Set aufgefordert wird, vorschnelle Reaktionen zu vermeiden und sich auf den Reiz zu konzentrieren (LOVELESS & SANFORD 1974), eine Einstellung, die an sich eher in diskriminativen Reaktionsaufgaben erreicht wird (WOODWORTH & SCHLOSSBERG 1965).

Leider ist eine direkte objektive Kontrolle des 'mental set' kaum möglich (HOHLE 1967), obwohl er auch von meinen Vpn introspektiv in seiner Veränderbarkeit sehr gut erfaßt wurde. Während der Vorversuche beschrieben sie ihre verschiedenen inneren Einstellungsmöglichkeiten zum Reiz-

geschehen und zur Reaktion: Die eine Haltung war die, ruhig auf den Reiz zu warten, dessen Zeitpunkt sie ja nach einer Weile relativ genau im Gefühl hatten, und dann zu reagieren, die andere Haltung, mit wachsender Spannung auch in der Reaktionshand sich ganz auf diese zu konzentrieren, um eine maximal schnelle Reaktion zu erreichen.

Für die Phasenversuche schien es mir sinnvoll, eine vor allem möglichst konstante Einstellung bei den Vpn zu erzeugen, wozu wiederholte Instruktionen, Einübung und Kontrollen in den Pausen der Experimente dienten. Der erzeugte Set war ein eher sensorischer. Dieser sollte verhindern, daß die Vp durch möglicherweise überstarke Anspannung stärkeren kurzphasigen Aufmerksamkeits- und Motivationsschwankungen während der experimentellen Sitzung ausgesetzt wäre, die die unspezifische Variabilität der Reaktionszeiten erhöhen und die bei Entspannung i.e. stärkere Alpha-Synchronisation ungünstig beeinflussen könnte. Eine entspannte Haltung war auch mit Hinsicht auf die Qualität der Registrierungen wünschenswert.

Obwohl der V1 vor jedem Experiment und in den Versuchspausen sich immer wieder davon überzeugte, daß die Vpn wenigstens subjektiv die beschriebene "sensorische" Einstellung zum Reiz-Reaktionsgeschehen einhielten, kann dieser Faktor nicht als konstant, sondern lediglich als in seinem möglichen Spielraum eingeengt angesehen werden. Es soll hier hervorgehoben werden, daß die Art des per Instruktion erzielten Sets, die sich nicht zwingend aus der Aufgabenstellung, sondern aus teilweise praktischen Voraussetzungen (EEG-Synchronisation) ergibt, einen spezifischen Einfluß auf die Versuchsergebnisse gehabt haben kann.

b) Instruktionen

Für die Hauptversuche hatten die Vpn die Instruktion, sich möglichst entspannt im Versuchsstuhl zurechtzusetzen, auch den Reaktionsfinger entspannt auf der Taste liegen zu lassen, sich ganz auf den Rhythmus des wiederkehrenden Reizes einzustellen, den Reiz abzuwarten und dann zwar schnell, aber möglichst nicht vorschnell mit kurzzeitigem Heben des Fingers zu reagieren. Sie sollten die Augen durchgehend geschlossen halten und sie möglichst nicht bewegen.

Auch wurde in der Übungsphase dafür gesorgt, daß sich die Atmung der Vp nicht mit dem Reizgeschehen synchronisierte, was bei einer Vp zunächst spontan aufgetreten war. Bei allen Vpn stellte sich unwillkürlich eine mit dem Reizgeschehen synchronisierte Augenrollbewegung ein. Obwohl es in der Übungsphase (während der Vorversuche) gelang, das Ausmaß dieser Bewegung weitgehend zu reduzieren, zeigen die Hauptversuche bei allen Vpn leichte synchronisierte Augenbewegungen. Eine Vp hatte die Neigung, die Reize des einzelnen Trialblocks abzuzählen. Die endgültige Instruktion enthielt dann auch den Hinweis an alle Vpn, dies zu vermeiden.

c) Trialblocks und Versuchsdauer

Alle diese zunächst spontan aufgetretenen Phänomene hatten sicherlich auch den Sinn, der Vp die Zeit während der gleichbleibenden experimentellen Aufgabe zu verkürzen und sich in der monotonen Reizsituation ein beruhigendes Feedback zu geben. Es erwies sich auch mit Bezug auf derartige emotionale Faktoren als günstig, die einzelnen Trialblocks gegenüber den in den Vorversuchen verwendeten stark zu kürzen, sodaß schließlich pro Block 41 Trials gegeben wurden, woraus sich eine Trialblock-Dauer von 2 Min. und 44 sec ergab, über die die Vpn bei einer entspannten Grund-

haltung eine subjektiv gleichbleibende Aufmerksamkeitszuwendung einhalten konnten.⁺⁾ In einer experimentellen Sitzung wurden 10 solcher Blocks gegeben, wobei nach jedem Block die Vp die Augen öffnen konnte. Nach den 5 ersten Blocks wurden die Stecker der Ableitungskabel aus der EEG-Brause genommen und die Vp konnte 10 Min. lang im Zimmer auf- und abgehen und sich mit dem V1 unterhalten.

d) Versuchsablauf

Die Hauptversuche wurden zu für die einzelne Vp gleichbleibenden Tageszeiten durchgeführt. Dabei wurden die Anfangszeiten sehr genau eingehalten, es gab nur einmal eine Abweichung um 45 Minuten. Die Vpn waren instruiert, sich am Vorabend des Experiments - bzw. auch am Tag des Experiments selbst - auf das gewohnte Maß von Genußmitteln zu beschränken, nicht zu spät zu Bett zu gehen und übermäßige Anstrengungen zu vermeiden, bzw. - falls solche Situationen und auch evtl. emotionale Stresssituationen (Klausuren) nicht vermeidbar waren - das Experiment abzusagen.

Das Anlegen der Elektroden nahm in der Regel nicht mehr als 30 Minuten in Anspruch. Danach wurde der Raum verdunkelt und die Vp hatte eine etwa 10-minütige Phase der Adaptation an die reduzierten Lichtverhältnisse, es wurde ein schwaches Deckenlicht eingeschaltet während die Probeableitungen mit Sitzkorrekturen liefen und Blitzlampe und Hintergrundlicht-Projektor justiert wurden.

Jedes Experiment begann mit einer Ruheableitung der EEG-Aktivität ohne Reizgabe über je eine Minute bei geschlos-

+) Für die Vorbereitung und die Reaktion auf den ersten Reiz eines Trialblocks ist sicherlich mit besonderen inneren Bedingungen der Vp zu rechnen, zumal dieser erste Reiz ja nicht wie alle weiteren auf einen vorangehenden folgt. Alle Blocks begannen daher ohne Wissen der Vp mit einem später nicht ausgewerteten 'Blindtrial'.

senen und offenen Augen. Danach wurden einige Probereize gegeben, damit sich die Vp wieder in das Reiz-Reaktions-geschehen eingewöhnen konnte.

Während der Ruheableitungen und der einzelnen Trial-blocks trug die Vp den Kopfhörer, der gewährleistete, daß die Entladung der Blitzlampe nicht gehört werden konnte.

Die Vp gab dann in der Regel das Signal zum Beginn der ersten Versuchshälfte, wenn nicht eine nochmalige Sitz-korrektur nötig war. Die 5 Trialblocks zu je 41 Reizen im regelmäßigen 4-sec-Abstand waren von 2-3 minütigen Pausen unterbrochen, während denen der V1 die Vp nach ihrem Be-finden befragte und gelegentlich die 'Set'-Instruktion wiederholte, bzw. deren Einhaltung durch Fragen nachprüfte. Nach der bereits erwähnten 10-minütigen 'Großen Pause', in der die Vp bei eingeschalteter schwacher Deckenbeleuch-tung im Versuchsraum umherlaufen konnte, folgte eine der ersten entsprechende Versuchshälfte mit wiederum 5 Trial-blocks und abschließender Ruheableitung ohne Stimulation.

e) Die Motivation der Versuchspersonen

Die beiden Studenten H.N. und T.S. erhielten eine fi-nanzielle Entlohnung für ihre Mitarbeit in Höhe von DM 5,- pro Stunde, während bei der dritten Vp, G.G., einem Mit-glied unserer Forschungsgruppe, eine solche finanzielle Motivierung nicht notwendig war. Die Motivationen, an dem über mehrere Sitzungen innerhalb einiger Wochen fortge-setzten Experiment mitzumachen, waren sicherlich unter-schiedlicher Natur: H.N., selbst Psychologiestudent, in-teressierte sich für das Experiment wie ganz allgemein für das Laboratorium und war, wie natürlich auch G.G., mehr an der Sache interessiert, als an der finanziellen Entschä-digung, während für T.S. das Honorar eine größere Rolle gespielt haben dürfte. Insgesamt gesehen, waren alle Vpn gleichbleibend gut motiviert.

IV. Reaktionszeit-Messung und EEG-Analyse

=====

1. Überblick, Instrumentation

Der erste Teil der Datenverarbeitung beinhaltete die Berechnung der Reaktionszeiten, die empirische Kontrolle der ISIs, die Digitalisierung der zu analysierenden EEG-Ableitungen Oz, O₁ und O₂, sowie die Berechnung der Parameter (z.B. Alpha-Phase zur Reizzeit) für die statistische Analyse.

Für die Auswertungsarbeiten stand der Computerraum der Neurophysiologischen Klinik Freiburg/Br. zur Verfügung. Sämtliche Datenanalysen wurden in diesem Raum gemacht, und zwar mit folgenden Geräten: Einer mit der VR 3300 kompatiblen Bandmaschine (Fa. Siemens), einem mehrkanaligen Anpaßverstärker (Konstruktion: Ing. H. Kapp), einem Interface mit eingebauter Schmitt-Trigger-Einheit (Fa. Probst), einem Computer mit Zusatz-Plattenspeichern (IBM 1130) und optischen, graphischen und numerischen Ausgabereinheiten. Alle verwendeten Computer-Programme wurden, wenn nicht anders angegeben, vom Verfasser selbst geschrieben.⁺⁾ Sie sind in dieser Arbeit aus Platzgründen nicht abgedruckt, werden aber in ihrer Funktionsweise beschrieben.

2. Messung der Reaktionszeiten

Reizzeitpunkt und Reaktionstastensignal waren so auf dem Band gespeichert, daß der Blitz ein 3-sec-Rechtecksignal auslöste, das durch das Abheben des Reaktionsfingers von der Taste unterbrochen wurde. Somit waren auf einem Bandkanal Reiz- und Reaktionszeitpunkt (Kontaktunterbrechung durch Heben des Fingers) als Anstiegs- bzw. Abfallflanke eines Rechtecksignals aufgezeichnet. Diese Zeitspanne wurde mit dem Computer auf 1 msec genau für jeweils ganze

+) mit Ausnahme der serienmäßigen Unterprogramme zur Steuerung des A-D-Wandlers.

Trialblocks (40 Trials) ausgemessen. Nicht erfolgte Reaktionen wurden von diesem Programm ebenfalls festgestellt.

3. EEG-Digitalisierung

In einem Arbeitsgang wurden automatisch für jeweils einen Trialblock ein EEG-Kanal digitalisiert, die durch EEG-Aufnahmegerät und Anpaßverstärker verschobene Nulllinie korrigiert, das digitalisierte Signal geeicht und abgespeichert.

Die für jedes Einzeltrial aufgenommene EEG-Strecke begann 500 msec vor dem Reiz und endete 400 msec nach ihm. Die relativ lange Analysenstrecke vor dem Reiz diente dazu, die EEG-Verhältnisse vor jedem Trial bestimmen zu können.

In Anbetracht der geplanten genauen Vermessung der gereizten Alpha-Welle wurde bei der Analog-Digital (A-D)-Wandlung eine zeitliche Auflösung von 1 msec Interpoint-time (IPT) gewählt. In der Spannungsdimension betrug die die Auflösung - bei 2^{10} vertikalen Einheiten des A-D-Wandlers - minimal $0.2 \mu\text{V}$. Zur Nulllinien-Korrektur wurde die Differenz zwischen der vom Band aufgenommenen Mingograf-Verstärkernulllinie und der Nulllinie des A-D-Wandlers von der digitalisierten EEG-Strecke subtrahiert.

4. Trial-Elimination

Zur Auswertung standen 16 Hauptversuche mit zusammen 6400 Trials pro Ableitung zur Verfügung, nachdem ein gesamtes Experiment wegen gehäufte äußerer Störeinflüsse (Baulärm, Stromunterbrechung) ausgeschlossen werden mußte. Von den genannten 6400 Trials war eine ganze Reihe aus verschiedenen Gründen für die statistische Analyse ungeeignet. Sie wurden z.T. bereits vor, z.T. nach der auf der

EEG-Analyse beruhenden Parameter-Berechnung eliminiert.

- a) Zunächst mußten einige Trial-Blocks komplett ausgeschlossen werden, da während des Experiments störende Geräusche aufgetreten waren, da die Vp durch irgendeine zuvor nicht bemerkte innere Ursache in ihrer Zuwendung zur experimentellen Aufgabe gestört war (z.B. ein plötzlich auftauchendes Hunger- oder Müdigkeitsgefühl, ein unabweisbarer, ablenkender Gedanke, etc.), oder da sie unversehens einen von der Instruktion abweichenden Set adoptiert hatte. Aus derartigen Gründen wurden insgesamt 8 Trialblocks von der Auswertung ausgeschlossen (H.N.:7, T.S.:0, G.G.:1).
- b) Weiterhin fiel eine relativ geringe Zahl von Einzeltrials aus, in denen die EEG-Registrierungen Artefakte durch Bewegungen, Muskelanspannungen, etc. zeigten. Diese Elimination bezog sich teilweise nur auf eine oder zwei Ableitungen eines Trials.
- c) Eine dritte Gruppe von eliminierten Trials war die, in denen die Vp nicht auf den Reiz reagiert hatte. Dies waren zusammen 61 Trials (H.N.: 21, T.S.: 39, G.G.: 1). Ebenso wurden Trials mit vorschnellen und überlangen RZn eliminiert; die entsprechenden Kriterien wurden auf der Basis der RZ-Verteilungen gewonnen (vgl. dazu Kap. V, 2; Seite 45).
- d) Da sich die Fragestellung auf den Zusammenhang der RZ mit der Phase der gereizten Alpha-Welle bezog, waren alle Trials, bzw. einzelnen Ableitungen derselben zu eliminieren, in denen der Reiz nicht in eine Alpha-Welle gefallen war. Während der im Folgenden detaillierter zu schildernden EEG-Analyse wurde auch die Halbwelle, in die der Reiz gefallen war, sowie die unmittelbar dieser vorangehende Halbwelle bezüglich ihrer Länge vermessen (zur genauen Meßoperation vgl. unten). Lagen in der Ableitung eines Trials diese bei-

den Intervallwerte nicht im Alpha-Bereich (8-13 Hz; bzw. 38.46-62.50 msec Intervalldauer), so wurde definitionsgemäß⁺) angenommen, daß eine andere als Alpha-Welle gereizt worden war und diese Ableitung des gegebenen Trials von der weiteren Auswertung ausgeschlossen.

Tab. 1. (Seite 76) faßt die Trialzahlen der einzelnen Vpn nach den verschiedenen Eliminationsvorgängen zusammen. Die Trialelimination aufgrund der Kriterien a) und b) erfolgte vor der EEG-Analyse und ergab die Zahl der sog. analysierten Trials pro Vp und Ableitung. Nach der Trialelimination entsprechend Kriterium d) verblieben die sog. Alpha-Trials. Tab. 1. zeigt, daß sich die Vpn bezüglich des Prozentsatzes von Alpha-Trials an den überhaupt analysierten Trials erheblich unterscheiden: Bei der Vp H.N. lag etwa doppelt so häufig eine Alpha-Welle zur Reizzeit vor, wie bei den beiden anderen Vpn.

5. Definition und Berechnung der EEG-Parameter

Ein wesentlicher Gesichtspunkt dieser Untersuchung war die vollkommen automatische Analyse des EEGs, speziell der Alpha-Phase zum Zeitpunkt der Reizgabe. Die entsprechenden Berechnungen wurden mit einem Programm ausgeführt, dessen Funktionsweise in diesem Abschnitt dargestellt werden soll. Dieses Programm berechnete eine Reihe von EEG-Parametern für jede Ableitung jedes Trials, in der zum Zeitpunkt des Reizes eine Alpha-Welle vorgelegen hatte (Alpha-Trials, vgl. Pkt. 4 d dieses Kapitels, Seite 37). Ausgangsmaterial war in jedem Fall die mit 1 msec IPT abgespeicherte 900-msec-EEG-Strecke. Die Berechnungsschritte des Programms waren:

-
- +) Theoretisch sind andere Möglichkeiten denkbar: Eine 'Alpha-Ganzwelle' kann aus zwei ungleichen Halbwellen bestehen, z.B. aus einer halben 'Beta-' und einer halben 'Theta-'Periode. Die hier verwendete Definition einer Alpha-Ganzwelle impliziert also bereits die Elimination sehr unregelmäßiger Wellen, die eine Alpha-Welle vortäuschen könnten.

(1) Glättung der EEG-Strecke, (2) Konventionelle EEG-Analyse des 500-msec-Intervalls vor dem Reiz, (3) Definition der Alpha-Phase.

a) Glättung des EEGs

Die zu analysierenden EEG-Strecken waren durchgängig ohne sichtbare hochfrequente Anteile (Muskelpotentiale, Netzfrequenz) aufgrund der Entspannungsfähigkeit der Vpn, gut sitzender Elektroden und der elektrisch abgeschirmten Laborräume. Trotzdem zeigten sich nach der Digitalisierung des EEGs in 1-msec-Schritten bei gleichzeitig hoher vertikaler Auflösung Unebenheiten des Kurvenverlaufs, die zu Meßfehlern bei der automatischen Definition der Wellenmaxima und -minima und der Nulldurchgänge führen mußten. Diese hier summarisch als noise bezeichneten Frequenzanteile hätte ein Analogfilter eliminiert; dieses war jedoch nicht eingesetzt worden, da es mehr oder weniger große Phasenverschiebungen mit sich gebracht hätte.

Testuntersuchungen zeigten, daß im gegebenen Fall eine Glättung der EEG-Kurve mit dem relativ einfachen Moving-Average-Verfahren zu befriedigenden Ergebnissen führte, selbst bei Verwendung eines relativ kleinen Fensters von ± 8 msec um den jeweils gegebenen Original-Meßwert.⁺⁾ Wenn man davon ausgeht, daß es sich bei diesem noise nicht um originäre Bestandteile des zugrundeliegenden Alpha-Rhythmus handelt, so wird die automatische Definition der Kurvenmaxima durch die größten Amplitudenwerte der Originalregistrierung den tatsächlichen Scheitelpunkt der Alpha-Welle nicht, bzw. nur mehr oder weniger genau erfassen. Eine Glättung der Kurve wird zwar nicht den 'wahren' Alpha-Rhythmus rekonstruieren, aber - soweit sie keine systematische Phasenverschiebung mit sich bringt - eine bessere Schätzung der genannten Kurvenpunkte ermöglichen.

^{+) Bei dem hier verwendeten Verfahren resultierte der korrigierte Wert aus dem Mittelwert der ungewichteten Originalmeßwerte innerhalb des Fensters.}

Voruntersuchungen ergaben folgende Eigenschaften dieses Glättungsverfahrens: Eine Phasenverschiebung ist auch bei größeren Fensterbreiten nicht feststellbar; dies wurde an noisefreien EEG-Strecken nachgewiesen. Es tritt eine geringfügige Dämpfung der Maximalamplituden auf, die bei dem hier gegebenen Verhältnis von (Alpha-)Frequenz, Abtastrate und Fensterbreite in Anbetracht des Vorteils einer zeitlich genaueren Maximums- und damit Phasendefinition in Kauf genommen werden konnte. Abgesehen von diesem, für den Bereich des Alpha-Bandes relativ konstanten Dämpfungseffekt wurde durch die Glättung auch eine zuverlässigere automatische Amplitudenmessung möglich.

Alle 900-msec-EEG-Strecken wurden vor der in den folgenden Abschnitten dargestellten EEG-Analyse und Parameter-Definition der geschilderten Glättungsprozedur unterzogen.

b) Intervall-Amplituden-Analyse des EEGs

Bei der beschriebenen automatischen Selektion von Alpha-Trials war zu erwarten, daß auch eine ganze Reihe von Trials erfaßt werden würde, bei denen nur eine oder wenige Alpha-Wellen in einer Sequenz von anderen Wellen vorkamen, d.h. der Reiz in eine desynchronisierte EEG-Strecke gefallen war. Da die RZ-Phasenbeziehung in möglichst hochsynchronisierten EEG-Zuständen untersucht werden sollte, war auch eine Beurteilung des Ausgangszustandes des EEGs unmittelbar vor dem Reizzeitpunkt wünschenswert. Der Synchronisationsgrad⁺⁾ des EEGs vor dem Reiz sollte anhand der mittleren Alpha-Intervalle und -Amplituden und der Alpha-Wellenhäufigkeit beurteilt werden. Aus den schon auf Seite 38 (Fußnote) genannten Gründen wurde eine Halbwellen-Analyse durchgeführt.

+) 'Synchronisation' bezieht sich in dieser Arbeit, falls nicht anders spezifiziert, immer auf das Alpha-Frequenzband.

Für die Analyse einer kleinen EEG-Strecke, bei der die drei genannten Größen getrennt erfaßt werden sollen, gibt es die Möglichkeit, die Intervalle von Nulldurchgang zu Nulldurchgang oder von Maximum zu Minimum (bzw. vice versa) zu bestimmen. Der Nulldurchgang eignet sich m.E. weniger als Referenzpunkt für Periodenmessungen an Halbwellen, wenn niederfrequente Signalanteile nicht ausgefiltert worden sind. Um entsprechende Fehlmessungen zu vermeiden, wurde in dieser Untersuchung eine Intervalldefinition nach dem sog. Minimum-Maximum-Verfahren vorgenommen.

Hierzu wurden im 500-msec-Intervall vor dem Reiz die aufeinanderfolgenden Kurvenmaxima und -minima (Peaks) bestimmt.⁺⁾ Die Halbwellen-Intervalle errechneten sich aus den Zeitabständen und die Peak-to-Peak-Amplituden aus der Spannungsdifferenz je zwei aufeinanderfolgender Peaks. Dabei wurde das Vorzeichen der Amplitude der Richtung der vorangehenden Spannungsänderung entsprechend definiert. Aus diesen Intervall- und Amplitudenwerten wurden errechnet und abgespeichert: (1) das arithmetische Mittel der Alpha-Halbwellen-Intervalle (MAI), (2) das arithmetische Mittel der zugehörigen Amplituden (MAA) und (3) die absolute Häufigkeit der Alpha-Halbwellen (AH). 'Alpha'-Halbwellen sind in dieser Arbeit generell solche mit Intervallen von 38.46 bis 62.50 msec einschließlich.

c) Definition der Phasen-Parameter

Wie bereits in der Einleitung dargestellt wurde, hat sich im Zusammenhang mit dem Alpha-Rhythmus der Begriff der Phase eingebürgert, eine praktische Konvention, die nicht implizieren soll, daß der Alpha-Rhythmus als eine Sinusschwingung betrachtet wird. Die Sinusschwingung dient hier ledig-

+) Bei diesem Verfahren ist zu beachten, daß die Glättungsprozedur gelegentlich zu mehreren gleichen Werten an den Scheitelpunkten führt. In solchen Fällen wurde die Mitte des durch die Reihe gleicher Werte gegebenen Intervalls als Scheitelpunkt berechnet.

lich als ein formales Modell. Es hat sich als praktisch erwiesen, die einzelne Alpha-Periode in gleichlange sog. Phasen-Intervalle zu unterteilen, bzw. den Zeitpunkt eines gegebenen Spannungswertes bezogen auf den Anfangspunkt der betreffenden Welle als 'Phase' zu definieren. In Analogie zum Modell der Sinusschwingung kann von einem 'Phasenwinkel' gesprochen werden, wenn man die Alpha-Periode - unabhängig von ihrer jeweiligen Dauer - in eine gleiche Anzahl von Intervallen aufteilt.

In Abb. 2. (Seite 68) sind am Modell einer Alpha-Welle die Meßpunkte dargestellt, aus denen in dieser Untersuchung die Werte der Phasen-Parameter berechnet wurden. Wie bereits erwähnt, wurden die Anfangs- und Endpunkte der Alpha-Halbwellen anhand der Kurvenmaxima und -minima bestimmt, da diese Methode die Unabhängigkeit der Messung von Grundlinienschwankungen gewährleistet. Deshalb sollten die Maxima bzw. Minima auch bei der Phasendefinition als Referenzpunkte zur Bestimmung der relativen Position des Reizzeitpunktes innerhalb der Alpha-Welle verwendet werden.^{+))}

Definiert man einen Punkt der Alpha-Welle als Anfangspunkt der Welle, so lassen sich ein absoluter und ein relativer Phasenwert bestimmen, wobei es sich streng genommen nur bei dem relativen Wert um eine echte Phasenberechnung handelt: Der absolute Wert wäre die Zeitdifferenz vom Anfangspunkt der Welle zum Reizzeitpunkt, der relative Wert ergibt sich, wenn man diese Zeitdifferenz auf die Dauer der gereizten Welle bezieht. Wie in Kap. II dargestellt,

+) Da in den früheren Untersuchungen häufig die Nulldurchgänge als Referenzpunkte zur Phasendefinition verwendet wurden, wurden zur Kontrolle auch die Phasenwinkel nach der Nulldurchgangsmethode berechnet. Ein Vergleich der beiden Werte zeigte eine sehr hohe Übereinstimmung: Als Beispiel wurden für die Oz-Ableitung des jeweils ersten Experiments der drei Vpn die absoluten Differenzen der Phasenwinkelwerte berechnet. Die entsprechenden Mittelwerte und Standardabweichungen waren für H.H.: $M = 3.04$, $s = 3.62$, $N = 123$; T.S.: $M = 5.03$, $s = 7.65$, $N = 110$; G.G.: $M = 4.40$, $s = 6.72$, $N = 50$ (Standardeinheiten, vgl. Abb. 1.).

sind solche Berücksichtigungen der individuellen Wellenperioden bereits in einigen früheren Untersuchungen erfolgt, wenn auch mit erheblichen Meßfehlern. Der Vorteil einer relativen Positionsbestimmung des Reizes unter Berücksichtigung der Periode der gereizten Welle liegt darin, daß die einzelnen Phasenangaben auf eine einheitliche Skala bezogen werden und damit untereinander vergleichbar sind.

Als Haupt-Phasen-Parameter wurde in der vorliegenden Untersuchung dieser als 'Phasenwinkel' bezeichnete relative Wert berechnet. Damit wurden die Differenzen zwischen Reizzeitpunkt und Wellenanfangspunkt aus allen Trials auf eine Einheitsskala von 100 Einheiten transformiert, die eine normierte, vollständige Alpha-Periode darstellt. Als Anfangs- und Endpunkt der vollständigen Alpha-Periode wurde das negative Minimum definiert.

Anhand der in Abb. 2. (Seite 68) dargestellten Meßpunkte wurden folgende Parameter definiert:

1. Das Intervall zwischen dem Reiz und dem vorangehenden Peak in msec: $RIM = t_3 - t_2$.
2. Die Dauer der gereizten Halbwelle in msec:⁺⁾
 $ISM = t_4 - t_2$.
3. Der Phasenwinkel entsprechend dem Minimum-Maximum-Verfahren in Standardeinheiten:

$$PWM = \frac{50 \times RIM}{ISM} \quad \text{für positive Halbwellen; und}$$

$$PWM = 50 + \frac{50 \times RIM}{ISM} \quad \text{für negative Halbwellen.}$$

4. Die Dauer der Halbwelle vor der gereizten in msec:⁺⁾
 $IVM = t_2 - t_1$.

⁺⁾ Die Intervalle ISM und IVM wurden, wie auf Seite 37 dargestellt, zur Selektion der Alpha-Trials benutzt.

5. Die Amplitude der gereizten Halbwelle in μV :

$$\text{AMP} = u(t_4) - u(t_2) \cdot$$

Zusammen mit der Reaktionszeit (RZ) und den drei die EEG-Verhältnisse des 500-msec-Vorreizintervalles charakterisierenden Parameter (MAA, MAI und AH) gingen somit 9 Parameter in die im folgenden Kapitel dargestellte statistische Analyse ein.

V. Befunde

=====

1. Überblick über die statistische Datenanalyse

In den folgenden Abschnitten wird zunächst ein Überblick über die Verteilungen von RZn und Prästimulus-EEG-Parametern gegeben und die Möglichkeit einer Transformation der RZn diskutiert. Die Vpn werden anhand der Verteilungen verglichen und die EEG-Kriterien für die Auswahl bestimmter Trialstichproben für die statistische Überprüfung des Phasen-RZ-Zusammenhanges abgeleitet. Für die einzelnen Trial-Stichproben, Vpn, Ableitungen und zwei verschiedene Phasen-Intervall-Einteilungen werden anschließend die Ergebnisse einer varianzanalytischen Prüfung der Mittelwerts-Unterschiede, einer Trendanalyse der Verläufe der mittleren RZn über die Phasenintervalle, sowie der Überprüfung einzelner Mittelwertsdifferenzen dargestellt.

2. Die Reaktionszeit-Verteilungen

Tab. 2. (Seite 77) zeigt die Statistiken der RZ-Verteilungen der Einzelexperimente. Die Werte beruhen auf allen gemessenen RZn, wobei lediglich extreme Werte eliminiert wurden: Hierbei schien es mir nicht günstig, eine der beiden recht willkürlichen Eliminationskriterien von CALLAWAY & YEAGER (1960) bzw. DUSTMAN & BECK (1965) zu übernehmen (vgl. Seite 16), die die individuellen RZ-Verteilungen nicht berücksichtigen. In der vorliegenden Untersuchung wurde für jede Vp getrennt eine untere und eine obere Grenze definiert, wobei ein möglichst breiter Verteilungsbereich erhalten bleiben sollte. Zur Festlegung dieser Grenzen wurde für jedes Experiment eine Häufigkeitsverteilung auf der Basis einer Klassifikation in 5-msec-Intervallen erstellt und jeweils die - von der Verteilungsmitte aus gesehen - erste Klasse mit der Häufigkeit Null für den

unteren und oberen Verteilungssast festgestellt. Die im Vergleich der Einzelexperimente einer Vp am weitesten unten bzw. oben liegende dieser Klassen wurde generell für diese Vp als untere bzw. obere Grenze für 'Ausreisserwerte' definiert. In allen weiteren Berechnungen wurden Trials, deren RZn außerhalb dieser in Tab. 2. aufgeführten Grenzen lagen, nicht berücksichtigt.

Die Reaktionszeiten der meisten Einzelexperimente zeigen die für RZn i.s. typische linksgipflige Verteilungsform; dies wird aus dem in Tab. 2. aufgeführten Schiefe-Kriterium, aber auch aus den Differenzen von Mittelwert und Median ersichtlich. Die Tabelle zeigt aber auch, daß dieser Effekt in den einzelnen Experimenten und vor allem bei den einzelnen Vpn verschieden stark ausgeprägt ist.

Bei der Entscheidung, ob eine Transformation der Meßwerte durchgeführt werden sollte, mußten verschiedene Gesichtspunkte berücksichtigt werden: Bei einer RZ-Verteilung mit ausgeprägter Linksgipfligkeit führt eine logarithmische oder auch eine Reziprok-Transformation vor der Varianzanalyse in der Regel zur Homogenisierung der Zellenvarianzen und bewirkt gleichzeitig Additivität der Bedingungs-effekte und eine Normalisierung der Verteilungsform (LIE-NERT 1973, WINER 1971). Nach diesen beiden Autoren sind Normalverteilung, sowie Homogenität der Zellenvarianzen nicht per se notwendige Voraussetzungen für die Anwendung der Varianzanalyse. Folgt man WINER (1971), so sollte man die Interpretation eines F-Wertes nicht kategorisch von der Signifikanz der vorausgehenden Homogenitäts-Prüfung abhängig machen. Hierbei ist allerdings zu bedenken, daß systematisch inhomogene Zellenvarianzen auf eine Nicht-Additivität der Bedingungs-effekte deuten (EDWARDS 1969). Im vorliegenden Fall wäre eine Transformation nur bei einheitlich nichtnormalen Zellenverteilungen und inhomogenen Zellenvarianzen ratsam gewesen.

Die Varianzanalysen wurden aufgrund dieser Überlegungen mit den ursprünglichen RZn gerechnet und die Zellenvarianzen mit dem $F_{\max}$ -Test (nach KIRK 1968) auf ihre Homogenität überprüft. Der überwiegende Teil der Zellenvarianzen erwies sich dabei als homogen. Einzelne Kontrollrechnungen mit logarithmisch transformierten RZn ergaben trotz gelegentlicher Erhöhung der Varianzhomogenität keine nennenswerten Änderungen der F-Werte der Varianzanalysen.

Wie aus Tabelle 2. ersichtlich, unterscheiden sich die RZ-Verteilungen der einzelnen Vpn; insbesondere ist auffallend, daß sich H.N. deutlich von den beiden anderen Vpn abhebt. Die statistische Prüfung mittels t-Test bzw. F-Test⁺) zeigt für H.N. im Vergleich sowohl mit T.S. als auch mit G.G. eine längere mittlere RZ ($M(\text{Exp.})$) und eine geringere Variation der mittleren RZn von Experiment zu Experiment ($s(\text{Exp.})$). Der Unterschied in der mittleren Schiefe ist nur zwischen H.N. und T.S. signifikant. Am deutlichsten ($P < 0,005$) unterscheidet sich H.N. von T.S. sowie von G.G. durch die äußerst geringe Schwankung der mittleren RZn von Experiment zu Experiment ($s(\text{Exp.})$).

3. Der Alpha-Rhythmus im Prästimulus-Intervall

Tab. 3. (Seite 78) stellt die EEG-Alpha-Verhältnisse im 500-msec-Prästimulus-Intervall bei den drei Vpn dar. Die Mittelwerte und Streuungsmaße wurden auf der Basis von jeweils allen Alpha-Trials (vgl. Seite 37) aller Einzelexperimente berechnet.

Wie die Tabelle deutlich macht, unterscheiden sich die Vpn auch hinsichtlich ihrer EEG-Ausgangslage vorder Reizgabe. Am deutlichsten hebt sich wiederum H.N. von den beiden anderen ab, und zwar durch: (a) ein etwas kleineres

⁺) t-Test für heterogene Varianzen. Eine Unabhängigkeit der Meßwerte kann hier angenommen werden, da es sich bei den einzelnen Werten um Mittelwerte handelt, die an verschiedenen Versuchstagen gewonnen wurden.

mittleres Alpha-Halbwellen-Intervall, was einer höheren Alpha-Frequenz entspricht; (b) eine geringere Streuung, d.h. größere Stabilität der mittleren Alpha-Periode (MAI) von Trial zu Trial über die Experimente; (c) eine höhere mittlere Peak-to-Peak-Amplitude (MAA) und (d) eine höhere Alpha-Häufigkeit (AH), die (e) ebenfalls weniger von Trial zu Trial variiert, als bei den anderen Vpn. Die statistische Überprüfung dieser Unterschiede in den drei Ableitungen - wiederum mit t-Test bzw. F-Test - ergab ein $P < 0,01$ für alle Vergleiche.

Die Verteilungen der für jedes Trial einzeln gemessenen Halbwellen-Intervalle IVM und ISM sind, schon wegen der engen Begrenzung des Meßbereichs, stark nichtnormal, hier liegt bei G.G. fast eine Gleichverteilung vor, während die beiden anderen Vpn, vor allem aber H.N. eine zu längeren Intervallen hin abfallende Häufigkeitskurve zeigen. Einen Eindruck von dieser Verteilungsform gibt als Beispiel der Q-Wert (Semiinterquartilrange) für IVM, der bei H.N. am niedrigsten ausfällt (statistisch nicht überprüft).

Abgesehen von der MAA, die bei allen Vpn in der Oz-Ableitung niedriger ist als in den lateralen Ableitungen, ist die Übereinstimmung der EEG-Alpha-Verhältnisse zwischen den Ableitungen bei den einzelnen Vpn bemerkenswert hoch.

4. Trial-Elimination und Phasenintervall-Einteilung

Wie bereits in Abschnitt III, 1. (Seite 23) dargestellt, sollte die relativ große Zahl von Einzeltrials bei den Vpn es ermöglichen, anhand einzelner EEG-Kriterien Unterstichproben auszuwählen, um den Phasen-RZ-Zusammenhang unter homogenen EEG-Bedingungen zu überprüfen. Mit Bezug auf die Annahme, daß ein hochsynchronisierter Schädel-Alpha-Rhythmus am ehesten den für die Reizverarbeitung in diesem Experiment relevanten 'Cortical Excitability Cycle' repräsentiert, sollten solche Trials ausgeschlossen werden, in denen ein geringer synchronisierter Alpha-Rhythmus vorlag.

Dies geschah nach drei Aspekten, bzw. Kriteriengruppen:

- (1) Zunächst konnten die Trials eliminiert werden, in denen zur Reizzeit nicht in allen drei Ableitungen eine Alpha-Welle vorgelegen hatte, d.h. also eine relativ uneinheitliche EEG-Aktivität im visuellen Cortex;
- (2) konnte der Grad der interhemisphärischen Synchronisation berücksichtigt werden, wobei Trials ausgeschlossen wurden, in denen die Phasenwinkel-Differenzen zwischen den Ableitungen ein bestimmtes Maß überschritten,
- (3) konnte der Ausprägungsgrad des Alpha-Rhythmus im Prästimulus-Intervall als Eliminationskriterium benutzt werden; hier wurden alle Trials eliminiert, in denen die mittlere Alpha-Amplitude, das mittlere Alpha-Intervall, die Alpha-Häufigkeit sowohl als auch die Amplitude der gereizten Halbwelle, deren Intervall und das Intervall der vorhergehenden Halbwelle nicht innerhalb bestimmter Grenzen lagen.

Aus der Anwendung dieser Eliminationskriterien ergaben sich insgesamt vier Trialstichproben, bzw. sog. EEG-Bedingungen, für die die statistische Überprüfung des Phasen-RZ-Zusammenhanges durchgeführt wurde: Die Bedingung O, in der die Gesamtzahl der Alpha-Trials verwendet wurde; die Bedingung I mit allen Trials, in denen in allen drei Ableitungen eine Alpha-Ganzwelle zur Reizzeit vorlag (IVM und ISM in den definierten Grenzen; vgl. Seite 37); die Bedingung II, in der zusätzlich zu Bedingung I die Phasenwinkeldifferenzen (PWMD) zwischen den Ableitungen zwischen definierten Grenzen lagen; und schließlich Bedingung III, in der zusätzlich zu Bedingung I die Alpha-Rhythmus-Kriterien des Prästimulus-Intervalls (MAA, MAI, AH, IVM und ISM) in den jeweiligen Ableitungen zwischen definierten Grenzen lagen. Für alle vier Bedingungen gelten die RZ-Grenzen der einzelnen Vpn, die in Tabelle 2. (Seite 77) angegeben sind.

Zur Definition der Grenzen für die EEG-Bedingungen II und III: Für Bedingung II wurden die Phasenwinkel-Differenzen (PWMD) zwischen den Ableitungen berechnet, wobei definitionsgemäß keine PWMD größer als 50 Einheiten bestimmt wurden, d.h. die Annahme gemacht wurde, daß z.B. bezüglich der Differenz O_1-O_2 ein negativer Wert von über 50 nicht als ein 'Nachlaufen' der O_2 hinter der O_1 um diesen Betrag, sondern ein 'Vorlaufen' der O_2 gegenüber der O_1 um den Betrag $(100 - \text{PWMD})$ zu interpretieren war. Die Verteilungen der PWMD bestätigen diese Annahme, insofern sie eine sehr geringe Streuung zeigen (vgl. Tab. 4., Seite 79).

Tab. 5. (Seite 80) enthält die Grenzwerte der einzelnen Parameter für die Trialelimination unter den EEG-Bedingungen II und III. Die Grenzen wurden so bestimmt, daß - mit Ausnahme von AH und MAA - das i.S. des Kriteriums ungünstige Drittel der Verteilung eliminiert wurde. Folgende Grenzen wurden für die einzelnen Parameter definiert:

PWMD (Phasenwinkel-Differenzen): eliminiert wurden die oberen und unteren 16 Prozent der Verteilung. - MAA: eliminiert wurden die unteren 32 Prozent und zusätzlich ganz extrem hohe Amplitudenwerte, die, durch mehrere Nullhäufigkeiten von der Verteilung isoliert, Artefakte sein konnten. - MAI: eliminiert wurden die oberen und unteren 16 Prozent der Verteilung. Entsprechend wurde für IVM und ISM verfahren. - Bezüglich der AH wurden einheitlich bei allen Vpn diejenigen Trials eliminiert, in denen weniger als 5 Alpha-Halbwellen im Prästimulus-Intervall lagen. Die Tab. 5. enthält hier den Prozentsatz der verbleibenden Trials. - AMP: Bei der Amplitude der gereizten Halbwelle wurden, wiederum neben einigen extrem hohen, artefaktverdächtigen Werten, lediglich die 20 Prozent niedrigsten Amplituden eliminiert, da die Verteilungen dieser Variablen sehr steil waren, so daß ein höherer Prozentsatz Trials mit nur unwesentlich höheren Amplituden eliminiert hätte.

Eliminiert wurden unter den jeweiligen EEG-Bedingungen (O - III) stets alle Trials, in denen mindestens einer der genannten Parameter nicht innerhalb der aus Tab. 5. ersichtlichen Grenzen lag.

Bei der Darstellung der bisherigen Arbeiten zum Alpha-Phasen-RZ-Zusammenhang wurde bereits auf den Aspekt der Phasenintervall-Bildung eingegangen. Eine Unterteilung der Alpha-Periode in aufeinanderfolgende gleichlange Abschnitte schien auch für die vorliegende Untersuchung sinnvoll, wobei die feine Auflösung der Phasenwinkel-Skala die Bildung verschiedener Einteilungen ermöglichte. Zwei aus der Literatur bekannte Einteilungen der Alpha-Periode kamen in der weiteren Datenanalyse zur Anwendung (vgl. hierzu Abb. 1.): (1) Eine Unterteilung in zehn gleichlange Abschnitte, entsprechend dem Modell von CALLAWAY & YEAGER (1960) und CALLAWAY (1962); und (2) eine Unterteilung in sechs gleichlange Abschnitte entsprechend dem Modell von LANSING (1957).

5. Ergebnisse der Varianzanalysen

Im Folgenden werden die Ergebnisse der Varianzanalysen und Einzelmittelwertsvergleiche dargestellt, wobei im ersten Arbeitsgang die RZn in jeweils 10 gleichlangen aufeinanderfolgenden Phasenintervallen zusammengefaßt wurden. Diese Phasenintervall-Bildung entspricht dem Modell von CALLAWAY (vgl. Abb. 1., Seite 67). Die Prüfung der Unterschiede zwischen den mittleren RZn dieser Intervalle, bzw. die Trendanalysen der entsprechenden Verläufe wurden getrennt für alle 4 EEG-Bedingungen gerechnet.^{+) Bei diesen Berechnungen wurden je Vp die Trials aller Experimente zu-}

^{+) Die Computerprogramme für die varianzanalytische Mittelwertsprüfung und Trendanalyse, sowie die Unterschiedsprüfung der einzelnen Mittelwerte anhand der Q-R-Statistik (studentized range statistic, WINER 1971) entstammen der Programmbibliothek der Forschungsgruppe C 3 des SFB 70.}

sammengefaßt. Die F-Werte der Analysen für die EEG-Bedingungen 0 - III sind in Tab. 6. (Seite 81) zusammengefaßt; Die Abb. 3-5 (Seite 69-71) zeigen die entsprechenden Verlaufskurven der mittleren RZn über die Phasenintervalle für die drei Vpn.

Generell ist bei den hier dargestellten Ergebnissen zu bedenken, daß die Ordnung der einzelnen Trendkomponenten von der Wahl des Kurvenanfangspunktes abhängig ist. In Anbetracht der Tatsache, daß über die Phasenbeziehung des hypostasierten Erregungs-Zyklus zum Schädel-Alpha-Rhythmus keine Angaben gemacht werden können, vielmehr angenommen werden muß, daß diese Phasenbeziehung je nach Vp und Ableitung verschieden sein kann, ist der hier gewählte Kurvenanfangspunkt willkürlich. So ergab sich bei den hier dargestellten Berechnungen häufig, daß bei andersartiger Wahl des Anfangspunktes ein signifikanter Trend höherer Ordnung durch einen solchen mit niedrigerer Ordnung ersetzt wurde. Die in Tab. 6. aufgeführten F-Werte der Trendanalysen beziehen sich jedoch immer auf den Kurvenanfangspunkt im negativen Minimum der Alpha-Welle, entsprechend den in den zugehörigen Zeichnungen dargestellten Verläufen.

Es erübrigt sich, in den Tabellen oder bei der Darstellung der Ergebnisse der einzelnen Trialstichproben die Streuung der RZn innerhalb der einzelnen Phasenintervalle jeweils anzugeben. Diese Streuungen sind, als mittlere Streuungen der RZn im Phasenintervall, bei den einzelnen Ableitungen, Vpn und EEG-Bedingungen praktisch konstant und liegen zwischen 24 und 30 msec. Die Streuungsunterschiede zwischen den Intervallen sind innerhalb der einzelnen Analysen jedoch teils erheblich; sie sind in den Tabellen gekennzeichnet, sofern der $F_{\max}$ -Test eine signifikante Inhomogenität anzeigte.

a) Analyse über 10 Phasenintervalle

EEG-Bedingung O: Die oberste Reihe der Abb. 3-5 (Seite 69-71) zeigt die Verläufe der mittleren RZn über 10 Phasenintervalle für EEG-Bedingung O, d.h. alle Alpha-Trials. Die Kurven, wenn man die 3 Vpn bzw. die einzelnen Ableitungen vergleicht, zeigen große Unterschiede, aber auch wiederum Ähnlichkeiten und teils recht kontinuierliche Verläufe. Bei keiner Vp ergibt die Varianzanalyse signifikante Mittelwertsunterschiede, jedoch einige signifikante Trendanteile bei T.S. und G.G.:

Bei T.S. enthalten die RZ-Verläufe der O₁- und Oz-Ableitung kubische Trends (O₁: $F=5.31$, $df=1/1006$, $P<0.05$; Oz: $F=3.90$, $df=1/1061$, $P<0.05$) und bei G.G. die O₁-Ableitung eine signifikante kubische ($F=5.36$, $df=1/652$, $P<0.05$) und die O₂-Ableitung eine lineare Trendkomponente ($F=5.02$, $df=1/623$, $P<0.05$).

EEG-Bedingung I: Nach Elimination der Trials, bei denen nicht in allen drei Ableitungen eine Alpha-Welle zur Reizzeit vorlag, erscheinen i.a. die Unterschiede zwischen den einzelnen RZ-Mittelwerten vergrößert, einzelne Verläufe treten prägnanter hervor, jedoch bleiben weiterhin alle Unterschiede statistisch insignifikant.

Während der unter Bedingung O aufgetretene nur knapp signifikante kubische Trendanteil in der Oz bei T.S. nicht mehr nachweisbar ist, bleibt derjenige der O₁ erhalten ($F=5.81$, $df=1/601$, $P<0.05$). Unter dieser EEG-Bedingung sind ferner bei G.G. in der O₁ und Oz signifikante kubische Trends nachweisbar (O₁: $F=7.85$, $df=1/247$, $P<0.01$; Oz: $F=7.50$, $df=1/247$, $P<0.01$), allerdings bei inhomogenen Zellenvarianzen. Der für die Bedingung O nachgewiesene lineare Trendanteil in der O₂ ist nicht mehr zu sichern.

EEG-Bedingung II: Die 3. Zeile der Abb. 3-5 (Seite 69-71) zeigt die RZ-Verläufe unter interhemisphärischen Synchronisationsbedingungen. Diese Trialelimination führt zu unterschiedlichen Änderungen im Bild der RZ-Verläufe bei den einzelnen Vpn. Hierbei ist zu bedenken, daß die Trialauswahl nach dem Kriterium einer geringen Phasenwinkeldifferenz zwischen den Ableitungen die Kurvenzüge der drei Ableitungen einer Vp notwendig ähnlich werden läßt:

H.N.: Hier finden sich die bereits in Bedingung O sichtbaren RZ-Verläufe noch deutlicher ausgeprägt. Die Intervallmittelwerte sind in allen drei Ableitungen signifikant unterschiedlich (O_1 : $F=2.07$, $df=9/469$, $P<0.05$; O_z : $F=2.09$, $df=9/469$, $P<0.05$; O_2 : $F=2.49$, $df=9/469$, $P<0.01$). Der Einzelvergleich der Phasenmittelwerte mit der Q-R-Statistik zeigt, daß der Abfall der RZn zwischen Intervall 6 und Intervall 9 in allen Ableitungen signifikant ist (O_1 und O_z : $P<0.05$; O_2 : $P<0.01$). Die drei Ableitungen zeigen ferner signifikante quadratische Trends im Verlauf der Intervall-Mittelwerte (O_1 : $F=4.20$, $df=1/469$, $P<0.05$; O_z : $F=5.41$, $df=1/469$, $P<0.05$; O_2 : $F=7.30$, $df=1/469$, $P<0.01$).

T.S.: Bei dieser Vp zeigt sich unter Synchronisationsbedingungen ein gänzlich anderes Kurvenbild als bei H.N., das keine kontinuierliche Veränderung der RZn über die Alphaperiode erkennen läßt. Die F-Werte der Mittelwertsprüfung sind in allen Ableitungen sehr niedrig und insignifikant; die Bedeutung der kubischen Trendkomponenten in O_1 und O_z (O_1 : $F=7.57$, $df=1/314$, $P<0.01$; O_z : $F=6.01$, $df=1/314$, $P<0.05$) wird durch die signifikant inhomogenen Zellenvarianzen eingeschränkt.

G.G.: zeigt unter dieser Bedingung sehr große Unterschiede zwischen den Phasenmittelwerten - bis zu 40 msec. Bei der Beurteilung so großer Differenzen müssen bei dieser Vp die recht geringen Trialzahlen der Unterstichproben berücksichtigt werden, die aus Tab. 1. (Seite 76) ersichtlich

sind. Während die Intervall-Mittelwerte in Bedingung II sich bei H.N. noch aus rund 50 RZn berechnen, bei T.S. aus rund 30, so sind die Kurvenpunkte bei G.G. im Mittel aus nur 11 RZn berechnet. Auch hier ergibt die Varianzanalyse keinen signifikanten Mittelwertsunterschied, lediglich einen bedeutsamen kubischen Trendanteil in O₂ ($F=4.81$, $df=1/101$, $P<0.05$).

EEG-Bedingung III: Die untersten Zeilen der Abb. 3-5 zeigen die Verläufe bei ausgeprägtem Alpha-Rhythmus im Prästimulus-Intervall. Hier sind die Trialzahlen, wie Tab. 1. zeigt, sehr reduziert.

H.N.: Es zeigt sich wieder das bereits unter den anderen Bedingungen sichtbare Kurvenbild, speziell der steile Abfall der RZn während der negativen Halbwelle. Statistisch bedeutsam ist jedoch lediglich der generelle Mittelwertsunterschied in der O₂-Ableitung ($F=1.93$, $df=9/287$, $P<0.05$).

T.S.: Die RZ-Verläufe entsprechen in etwa denen der Gesamtstichprobe aller Alpha-Trials (Bedingung O), wobei die Unterschiede zwischen den einzelnen Werten jedoch stark vergrößert sind. Statistisch zu sichern sind lediglich die Mittelwertsunterschiede in der O₁-Ableitung ($F=2.90$, $df=9/161$, $P<0.01$), wobei nach der Einzelprüfung die RZn in den Intervallen 4 und 10 signifikant unter denen von Intervall 3 liegen (alle $P<0.05$). Die Bedeutung dieses Befundes wird jedoch durch die Inhomogenität der Zellenvarianzen eingeschränkt. Für die O₂-Ableitung, die während der negativen Halbwelle einen Abfall der RZn um 25 msec zeigt, läßt sich eine lineare Trendkomponente sichern ($F=3.99$, $df=1/161$, $P<0.05$).

G.G.: Die Intervallmittelwerte beruhen in dieser Trialstichprobe lediglich auf einem mittleren $N=7$. Der bereits unter den anderen Bedingungen sichtbare starke Abfall der RZn um den positiven Kurvenpeak läßt sich hier in der O₂

statistisch sichern. Bei einem bedeutsamen F-Wert der Varianzanalyse ($F=2.62$, $df=9/63$, $P<0.05$) zeigt die Einzelprüfung, daß die RZn von Intervall 7 signifikant niedriger sind als die der Intervalle 2, 4 und 10 ($2/7$: $P<0.05$; $4/7$: $P<0.05$; $10/7$: $P<0.01$). In dieser Ableitung ist ferner ein kubischer Trend nachweisbar ($F=5.77$, $df=1/63$, $P<0.05$).

Insgesamt ergibt die Analyse der aus allen individuellen Experimenten pro Vp zusammengefaßten Trial-Stichproben kein sehr einheitliches Bild: Auffällig ist, daß eine Reihe von signifikanten F-Werten - besonders bei T.S. - bei inhomogenen Varianzverhältnissen auftreten. Im Folgenden sollen diese kritischen F-Werte unberücksichtigt bleiben, wodurch das Ergebnisbild erheblich klarer wird:

Obwohl die Kurven der mittleren RZn bei allen Vpn durch ihren häufig recht kontinuierlichen Verlauf an eine nicht-zufällige Modulation denken lassen, lassen sich unter Bedingung O (Alpha-Trials ohne Selektion) und auch Bedingung I (Alpha in allen Ableitungen) bei keiner Vp signifikante Mittelwertsunterschiede sichern. Es deuten lediglich einige signifikante Trendanteile bei T.S. und G.G. auf eine systematische Einflußgröße.

Die postexperimentelle Selektion von Trials mit synchronisierten EEG-Verhältnissen nach den beiden Kriterien (Bedingungen II und III) hat unterschiedliche Wirkungen bei den drei Vpn: Unter interhemisphärischen Synchronisations-Bedingungen läßt sich bei H.N. der in den Verlaufskurven sehr deutlich hervortretende Abfall der RZn während der negativen Halbwelle (zunehmende Negativierung) eindeutig sichern, während - außer einer Trendkomponente bei G.G. - weder bei T.S. noch bei G.G. ein Effekt festzustellen ist. Bei optimaler Alpha-Ausprägung im Prästimulus-Intervall zeigen alle 3 Vpn in der Oz-Ableitung signifikante Mittelwertsunterschiede bzw. Trendkomponenten. Die Verlaufskurven der Vpn zeigen im Bereich der negativen Halbwelle

einen erheblichen Abfall, der jedoch nur bei G.G. als statistisch ausreichend gesichert angesehen werden kann.

Um zu prüfen, inwieweit die dargestellten Befunde zufällig durch die Art der Intervallbildung zustande gekommen sein konnten, wurden die Daten auf der Basis einer anderen Phasenintervall-Skala erneut analysiert. Die speziell bei T.S. und G.G. in den EEG-Bedingungen II und III recht geringen Trialzahlen ließen eine Einteilung der Periode in größere Intervalle ratsam erscheinen. Hierfür wurde das Modell von LANSING mit 6 gleichlangen Intervallen gewählt (vgl. Abb. 1., Seite 67).

b) Analyse über 6 Phasenintervalle

Die statistischen Analysen der in 6 Phasenintervallen entsprechend dem Modell von LANSING zusammengefaßten RZn entsprechen denen des vorigen Abschnitts, sie wurden wieder für die 4 EEG-Bedingungen gerechnet. Die F-Werte für die Bedingungen O - III sind in Tab. 7. (Seite 82) dargestellt, die entsprechenden Verlaufskurven in den Abb. 6-8 (Seite 72-74). Erwartungsgemäß nivellieren sich die Verläufe der mittleren RZn bei den breiteren Intervallen, die Kurven werden i.a. kontinuierlicher.

EEG-Bedingung O: An nur zwei dargestellten Verläufen lassen sich Trendkomponenten sichern: ein kubischer Trend in der O_1 -Ableitung bei H.N. ($F=3.88$, $df=1/1140$, $P<0.05$) und ein quadratischer Trend in der O_2 -Ableitung bei G.G. ($F=5.19$, $df=1/627$, $P<0.05$).

EEG-Bedingung I: Der kubische Trend in der O_1 bei H.N. bleibt nachweisbar ($F=4.05$, $df=1/906$, $P<0.05$), der quadratische in der O_2 bei G.G. nicht. In der O_1 -Ableitung von T.S. zeigt sich wieder der schon bei der ersten Intervallbildung gefundene kubische Trend, diesmal bei homogenen Zellenvarianzen ($F=5.55$, $df=1/605$, $P<0.05$). Nimmt man hier z.B. das Intervall 4 als Anfangspunkt der Trendanalyse

(vgl. Seite 52), so reduziert sich der kubische Trend, wie unmittelbar aus der Kurve hervorgeht, auf einen linearen ($F=6.92$, $df=1/605$, $P<0.01$). Der Verlauf, ein kontinuierlicher Abfall mit plötzlichem Anstieg, entspricht dem in der O_1 bei H.N., allerdings mit einem anderen Anfangspunkt. Wie bereits bei den 10-msec-Intervallen ist in der Oz-Ableitung bei G.G. ein - diesmal linearer - Trend nachweisbar ($F=4.33$, $df=1/251$, $P<0.05$).

EEG-Bedingung II: Auch hier werden die Befunde aus der ersten Intervall-Bildung i.w. bestätigt: Bei H.N. finden sich in O_1 und Oz signifikante Mittelwertsunterschiede (O_1 : $F=3.56$, $df=5/473$, $P<0.01$; Oz: $F=2.27$, $df=5/473$, $P<0.05$), die RZn der Intervalle 1 und 3 liegen in O_1 signifikant über denen in Intervall 5 ($1/5$: $P<0.05$; $3/5$: $P<0.01$); der F-Wert der O_2 erreicht fast das 5%-Niveau. O_1 und O_2 enthalten ferner signifikante Trendanteile (O_1 : $F_{lin}=4.87$, $df=1/473$, $P<0.05$; $F_{kub}=4.56$, $df=1/473$, $P<0.05$; O_2 : $F_{lin}=4.45$, $df=1/473$, $P<0.05$).

Bei T.S. sind keine signifikanten Effekte nachzuweisen, ebenso wenig bei G.G., wenn man die bei dieser Intervall-Bildung neu auftretenden linearen Trends wegen der inhomogenen Zellenvarianzen nicht berücksichtigt.

EEG-Bedingung III: Auch bei der Einteilung nach LANSING bleibt der Mittelwertsunterschied in der Oz bei H.N. signifikant ($F=2.35$, $df=5/291$, $P<0.05$). Hierbei sind die RZn in Intervall 3 signifikant länger als die in den Intervallen 2, 4, 5 und 6 (alle $P<0.05$). In der O_2 treten bei dieser Intervallbildung signifikante F-Werte auf, allerdings im Zusammenhang mit inhomogenen Varianzverhältnissen.

Bei T.S. läßt sich wiederum in Oz ein linearer Trend nachweisen ($F=5.39$, $df=1/165$, $P<0.05$).

Statistisch zu sichern ist auch bei dieser Intervallbildung der bei G.G. in der Oz-Ableitung auffallende Verlauf der RZn. Bei einem signifikanten F-Wert ($F=3.21$, $df=5/67$, $P<0.05$) ergibt die Einzelprüfung der Mittelwertsdifferenzen, daß die RZn der Intervalle 2, 3 und 4 signifikant unter denen des Intervalls 1 liegen ($1/4$: $P<0.01$; die anderen $P<0.05$). Entsprechend dem Verlaufsbild sind eine lineare und eine quadratische Trendkomponente zu sichern ($F_{lin}=5.85$, $df=1/67$, $P<0.05$; $F_{quad}=10.30$, $df=1/67$, $P<0.01$).

Die Analyse des Phasen-RZ-Zusammenhanges über 6 Phasenintervalle ergibt kein wesentlich anderes Bild als die über 10 Intervalle. Signifikante Mittelwertsunterschiede finden sich bei H.N. unter EEG-Bedingungen II und III, wie bereits in der vorangegangenen Analyse. Bei den beiden anderen Vpn ergibt sich nur in der Oz-Ableitung von G.G. unter EEG-Bedingung III ein statistisch zu sichernder Mittelwertsunterschied, wobei in dieser Ableitung unter EEG-Bedingungen I, II und III signifikante Trends auftreten; der zuvor bei T.S. unter Bedingung III in der Oz-Ableitung festgestellte Trend läßt sich auch bei dieser Intervall-Einteilung sichern.

c) Zusammenfassende Betrachtung der varianzanalytischen Befunde

Die in den hier dargestellten Experimenten gefundenen RZ-Unterschiede zwischen sog. schnellsten und langsamsten Phasenintervallen sind weit größer als die aus der Literatur bekannten, sie gehen, wie aus den Abbildungen ersichtlich, bis 20 msec und darüber hinaus. Trotz dieser optisch deutlichen Unterschiede und der oft recht kontinuierlich wirkenden Verläufe muß die Struktur der Ergebnisse nach den statistischen Prüfungen als ausgesprochen uneinheitlich bezeichnet werden. Hierfür werden sicher auch die in dieser Untersuchung nicht speziell analysierten, jedoch in früheren Arbeiten nachgewiesenen Tages-

schwankungen mitverantwortlich sein. Einen Eindruck von der Unterschiedlichkeit des RZ-Phasen-Zusammenhanges an verschiedenen Versuchstagen i.S. der day-to-day variability CALLAWAYS geben die Verläufe der mittleren RZn der Einzelexperimente, die in Abb. 9. (Seite 75) dargestellt sind.

Die zwei vorangehend dargestellten Datenanalysen unterscheiden sich lediglich durch die Unterteilung der Alpha-Periode, die der Gruppierung der RZn zugrundegelegt wurde (vgl. Abb. 1.). Tatsächlich bestehende Zusammenhänge zwischen Alpha-Phase und RZ müßten sich also mehr oder weniger deutlich in beiden Analysen wiederfinden. Ein Vergleich der Tab. 6. und 7. zeigt übrigens, daß die meisten der signifikanten Mittelwertsunterschiede bzw. Trends die von inhomogenen Varianzverhältnissen begleitet sind, nur bei einer der beiden Intervallbildungen auftreten.

Bei einer kritischen Betrachtung der geschilderten Befunde wird man diejenigen F-Werte als statistisch einwandfrei gesichert ansehen können, die bei beiden Intervallbildungen unter homogenen Varianzverhältnissen signifikant sind: +)

(1) Bei allen Vpn zeigt sich ein Zusammenhang zwischen RZ und der Phase der Alpha-Welle zur Reizzeit in der Oz-Ableitung bei ausgeprägtem Alpha-Rhythmus im Prästimulus-Intervall. Dieser ist bei H.N. durch den signifikanten Mittelwertsunterschied repräsentiert, bei T.S. durch einen signifikanten linearen Trend; bei G.G. läßt sich - auf der Basis eines signifikanten F-Wertes - der Abfall der RZn während der positiven Halbwelle sichern, wobei der zykli-

+) Hier sind Unterschiede in der Ordnung der nachgewiesenen Trends bei den beiden Intervallbildungen wohl hauptsächlich eine Folge der Skalenänderung; bei der Einteilung der Alpha-Periode in breitere Intervalle verändern sich die zuvor festgestellten Trends regelmäßig in solche niederer Ordnung.

sche Verlauf der Kurve durch einen hochsignifikanten quadratischen Trend belegt wird.

(2) Nur bei H.N. ist unter interhemisphärischen Synchronisationsbedingungen ein Zusammenhang zwischen RZ und gereizter Alpha-Phase nachweisbar, speziell ein Abfall der RZn während der negativen Halbwelle. Die große Übereinstimmung der Befunde zwischen den Ableitungen ist hierbei eine Folge des Kriteriums der Trialselektion.

(3) Nur bei G.G. tritt bei beiden Intervallbildungen eine signifikante Trendkomponente in der O2-Ableitung unter Bedingung 0 auf; diese ist unter den anderen EEG-Bedingungen nicht mehr eindeutig nachweisbar.

VI. Diskussion

=====

In einer Reihe früherer Experimente war die erhebliche interindividuelle Variabilität im Zusammenhang von RZ und Alpha-Phase deutlich geworden. Alle diese Untersuchungen waren durch erhebliche meßtechnische Mängel gekennzeichnet. Für die hier vorgelegte Untersuchung war deshalb ein Versuchsplan gewählt worden, der bei einigen ausgewählten Vpn die Registrierung einer großen Zahl von Einzeltrials vorsah, um den Zusammenhang auf individueller Basis genauer als bisher zu analysieren. Zusammen mit einer postexperimentellen Trialauswahl nach EEG-Synchronisationskriterien und einer verfeinerten automatischen EEG-Analysemethode sollte dieser Versuchsplan ein klareres Bild von der Art des RZ-Phasen-Zusammenhanges bringen. Diese Erwartung wird von den vorgelegten Befunden nicht bestätigt.

Andererseits ist eine Ablehnung der zu prüfenden Grundhypothese, ob nämlich überhaupt ein Zusammenhang besteht, ebenso wenig möglich: Bei allen Vpn zeigt sich - mehr oder weniger deutlich - ein Zusammenhang zwischen RZ und gereizter Alpha-Phase. Die entsprechenden Befunde konnten allerdings erst nach drastischer Reduktion der Ausgangsstichproben aufgrund der beiden EEG-Synchronisationskriterien statistisch gesichert werden. Der Ansatz der Einzelfall-Untersuchung wird durch die Unterschiede in den Verlaufskurven der drei Vpn bestätigt.

Die vorgelegten Befunde demonstrieren die besondere Bedeutung der Synchronisationsvorgänge für das untersuchte Phänomen. Die Vp H.N., bei der der RZ-Phasen-Zusammenhang unter beiden Synchronisationsbedingungen eindeutig nachzuweisen war, hob sich von den beiden anderen Vpn durch deutlich synchronere EEG-Verhältnisse ab: eine größere Frequenzstabilität im Alpha-Band, größere Alpha-Amplituden und größere Alpha-Häufigkeit im Prästimulus-Intervall.

Diese Vp ist im übrigen auch durch den weitaus höchsten Prozentsatz von Alpha-Trials und die geringste Schwankung der RZn von Experiment zu Experiment gekennzeichnet.

Die Tatsache, daß ein Zusammenhang zwischen RZ und Alpha-Phase unter ausgeprägten Alpha-Verhältnissen bei allen Vpn in der Oz-Ableitung - und nur in dieser - nachzuweisen ist, läßt vermuten, daß den cortikalen Arealen unter dieser Elektrode besondere Bedeutung zukommt. Es wäre möglich, daß diese Ableitung freier von für den untersuchten Zusammenhang irrelevanten, störenden Potentialenflüssen, etwa aus dem Temporalbereich, ist. Der Oz-Punkt liegt allerdings auch der Calcarina-Rinde, d.h. dem primären visuellen Projektionsareal am nächsten, dem für die Verarbeitung von Flash-Reizen besondere Bedeutung zukommt (PEREZ-BORJA et al., 1962) und das die regelmäßigste Alpha-Aktivität zeigen soll (LOPE da SILVA et al., 1973). Tatsächlich müßte man ja, wenn der RZ-Phasen-Zusammenhang ableitungsabhängig wäre, fordern, daß er speziell unter Bedingung III auftreten, unter Bedingung II aber eher verwischt würde, indem hier die Trialzahl aufgrund der Bedingung der Phasenübereinstimmung auch in der relevanten Ableitung stark reduziert wird.

Bei H.N. wird der Zusammenhang auch unter EEG-Bedingung II deutlich, da er auch hier die weitaus größte Trialzahl mit ausgeprägtem Alpha-Rhythmus aufweist. Die bei den anderen Vpn unter Bedingung II festgestellten Trends sollten, da sie bei inhomogenen Varianzverhältnissen auftreten, nicht überbewertet werden. Insgesamt scheint die Trialsauswahl nach interhemisphärischen Synchronisationsbedingungen den Zusammenhang eher zu verschleiern. Die Feststellung eines RZ-Phasen-Zusammenhanges bei allen Vpn in der Oz-Ableitung unter EEG-Bedingung III (Synchronisation innerhalb eines Ableitungsareales) läßt vermuten, daß cortikale Phasenverhältnisse der Alpha-Aktivität im Bereich des primären visuellen Projektionsareals den hypostasierten Erregungszyklus i.e. am besten repräsentieren.

Ein Vergleich der RZ-Kurven der drei Vpn läßt eine Interpretation des festzustellenden RZ-Abfalles mit Bezug auf seine Position innerhalb der Alpha-Periode wenig sinnvoll erscheinen. Speziell die beiden Vpn, bei denen der RZ-Abfall statistisch am deutlichsten wird (H.N. und G.G., Oz in Bedingung III), unterscheiden sich hier erheblich. Dies entspricht ganz den aus der Literatur bekannten interindividuellen Unterschieden.

Vergleicht man die Größenordnung der gefundenen RZ-Unterschiede mit den aus der Literatur bekannten, so wird man die bisher vertretene Auffassung, daß unter optimalen Meßbedingungen kaum größere Unterschiede als 5, höchstens 10 msec zwischen sog. langsamsten und schnellsten Phasenintervallen zu finden sein würden, nicht bestätigen können. Die Einzelfalluntersuchung zeigt wesentlich größere Unterschiede, die es wahrscheinlich machen, daß der Einfluß des den occipitalen Alpha-Rhythmus modulierenden Erregungszyklus auf die visuelle RZ erheblich größer ist, als bisher angenommen wurde.

Über die Art des Zusammenhanges zwischen RZ und Alpha-Phase sind aufgrund der vorgelegten Befunde keine verlässlichen Angaben möglich. Es läßt sich hier lediglich die bereits bekannte Feststellung bestätigen, daß bei einem bestimmten, aber von Vp zu Vp verschiedenen Spannungszustand des occipitalen Alpha-Rhythmus gegebene Flash-Reize zu kürzeren RZn führen. Zwar deutet der Kurvenverlauf bei G.G. (Oz, EEG-Bedingung III) auf einen einfachen zyklischen Zusammenhang zwischen RZ und Alpha-Phase, hierfür finden sich jedoch bei den anderen Vpn keine wesentlichen Anhaltspunkte.

Zusammenfassend läßt sich feststellen:

Der am Schädel speziell im medialen Teil der Occipitalregion ableitbare spontane Alpha-Rhythmus repräsentiert im hochsynchronisierten Zustand u.a. einen die visuomotorische

Verarbeitungsgeschwindigkeit im einfachen Reiz-Reaktions-Versuch beeinflussenden cortikalen Mechanismus. Frühere Ergebnisse werden grundsätzlich bestätigt, es muß jedoch angenommen werden, daß der Einfluß dieses Mechanismus auf den Reizverarbeitungsprozeß größer ist, als bisher vermutet wurde. Dies zeigt sich in den größeren RZ-Unterschieden.

Trotz der erheblich verbesserten Untersuchungsmethode läßt sich von der Art des Zusammenhanges zwischen Alpha-Phase und RZ kein klareres Bild als bisher gewinnen. Es sind deshalb auch keine spezifischeren Hypothesen über die Arbeitsweise des cortikalen Mechanismus (Erregungszyklus) möglich, etwa im Sinne einer 'Shutter'-, 'Gating'- oder 'Scanning'-Funktion.

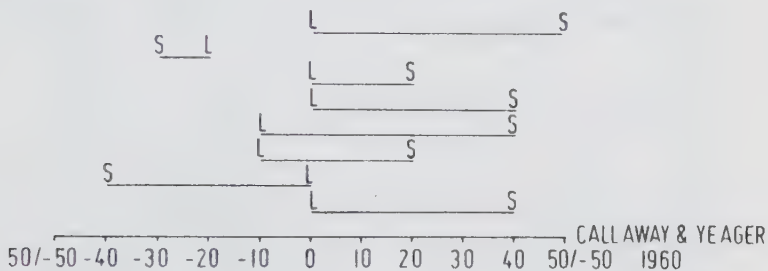
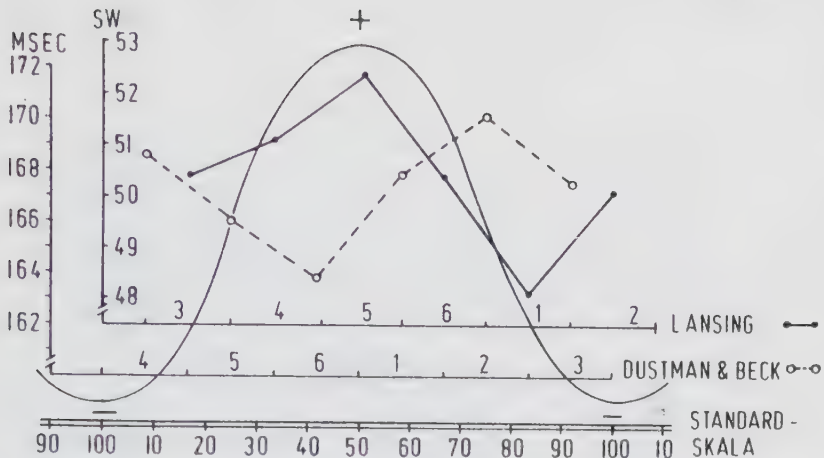
Wenn auf der Basis der in diesen Experimenten angewandten verbesserten Methodik kein klareres Bild von den untersuchten Zusammenhängen gewonnen werden konnte, so ist dies eine Folge von hauptsächlich drei Faktoren: (1) der auch in dieser Untersuchung bestätigten interindividuellen Unterschiede bezüglich des RZ-Phasen-Zusammenhanges; (2) den intraindividuellen Schwankungen, i.S. der 'day-to-day variability' CALLAWAYS; und in besonderem Maße (3) der Natur des am Schädel registrierten Alpha-Rhythmus, der ein Mischsignal darstellt, aus dem auch mit speziellen Analysemethoden nur bis zu einem bestimmten Grad spezifische Einflußgrößen herausdestilliert werden können.

In zukünftigen Experimenten könnten folgende Gesichtspunkte bzw. Ansätze zu klareren Ergebnissen führen:

- a) Die Verwendung von Ableitungen, die eine möglichst genaue Registrierung der Alpha-Aktivität im primären visuellen Projektionsareal erlauben, da vermutlich hier die i.S. der Fragestellung wesentliche Interaktion von reizevozierten Potentialen und Alpha-Rhythmus stattfindet.
- b) Direkte cortikale Ableitungen - evtl. im Tierversuch - würden eine bedeutend klarere Erfassung der Phasenverhältnisse ermöglichen.

c) Die Untersuchung nicht des spontanen Alpha-Rhythmus, sondern der diesem ähnlichen sog. after discharge. Diese reizevozierten Potentiale entsprechen in ihrer Frequenz dem Alpha-Rhythmus und sind speziell auch im Bereich der Calcarinarinde als Reaktion auf einfache Flash-Reize beobachtet worden (PEREZ-BORJA 1962, direkte Ableitungen). Nach den Experimenten von HARTER & WHITE (1967) ist es denkbar (s. auch KOMISARUK 1977), daß es sich bei dieser evozierten EEG-Aktivität um ein für die zeitliche Steuerung der visuellen Reizverarbeitung relevantes Phänomen handelt. Ein entsprechendes Reaktionszeit-Paradigma würde zwei kurz aufeinanderfolgende Flash-Reize enthalten, von denen der erste zur Provokation der after discharge dient, sodaß der zweite - als imperativer Reiz - in ausgewählten Phasen der after discharge plaziert werden könnte. Allerdings ist zu betonen, daß es sich bei der after discharge nicht um einen spontanen Alpha-Rhythmus, sondern um einen reizevozierten alpha-ähnlichen Rhythmus handelt.

Insgesamt legen es die dargestellten Untersuchungsbefunde, wie auch die Ergebnisse neuerer Experimente, die einen Zusammenhang komplexer Wahrnehmungs- und Verhaltensmuster mit den phasischen Schwankungen des Theta-Rhythmus (KOMISARUK 1977) aufgezeigt haben, nahe, die rhythmische EEG-Aktivität bezüglich ihrer möglichen zentralnervösen Steuerungsfunktionen weiter zu untersuchen.



<u>SNELL</u> S/L = 24:11	<u>LANGSAM</u> S/L = 8:21	VP1
<u>LANGSAM</u> S/L = 13:31	<u>SNELL</u> S/L = 31:13	VP2

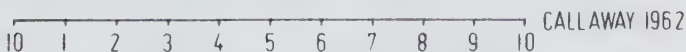


Abbildung 1: Phasenintervall-Einteilungen und wesentliche Befunde aus den bisherigen Arbeiten zum Zusammenhang von visueller Reaktionszeit (RZ) und EEG-Alpha-Phase zum Zeitpunkt der retinalen Reizeinwirkung. Die Standardskala und die schematisierte Alpha-Welle dienen der Vergleichbarkeit der Ergebnisse untereinander und mit den später dargestellten Befunden der vorliegenden Untersuchung. - Oben: RZ-Gruppenmittelwerte in Standardwerten bzw. msec aus den Experimenten von LANSING (1957) bzw. DUSTMAN & BECK (1965). Mitte: Die Phasenintervalle mit den vorhergesagten schnellsten (s) und langsamsten (l) RZn für die 8 Vpn von CALLAWAY & YEAGER (1960). Jede Linie entspricht einer Vp. Unten: CALLAWAYS (1962) Experiment mit wiederholter Untersuchung von 2 Vpn an mehreren Tagen. Dargestellt sind jeweils willkürlich definierte Hälften der Alpha-Periode und die Verhältnisse der Häufigkeiten (s/l), mit denen die darinliegenden Phasen als relativ schnell (s), bzw. langsam (l) klassifiziert wurden.

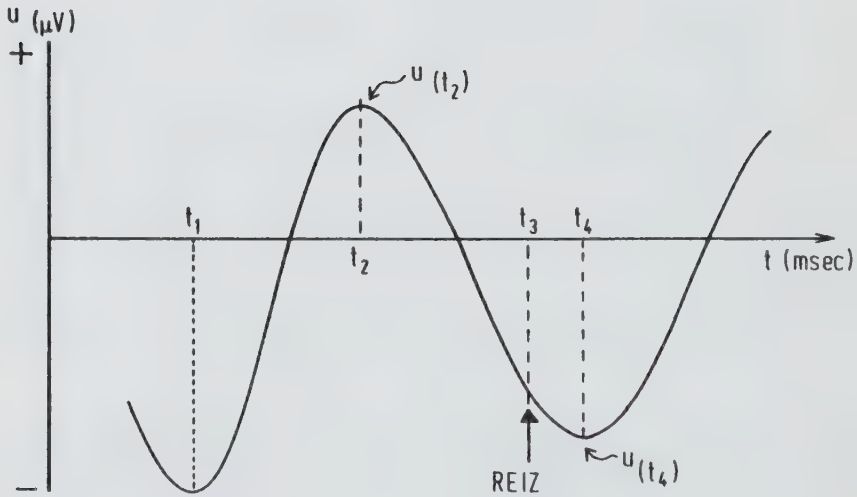


Abbildung 2: Meßpunkte für die Definition der EEG-Parameter zur Zeit der Reizgabe

- t_1 = 2. Peak vor dem Reizzeitpunkt
- t_2 = 1. Peak vor dem Reizzeitpunkt
- t_3 = Reizzeitpunkt
- t_4 = 1. Peak nach dem Reizzeitpunkt
- $u(t_2)$ = Spannung bei t_2
- $u(t_4)$ = Spannung bei t_4

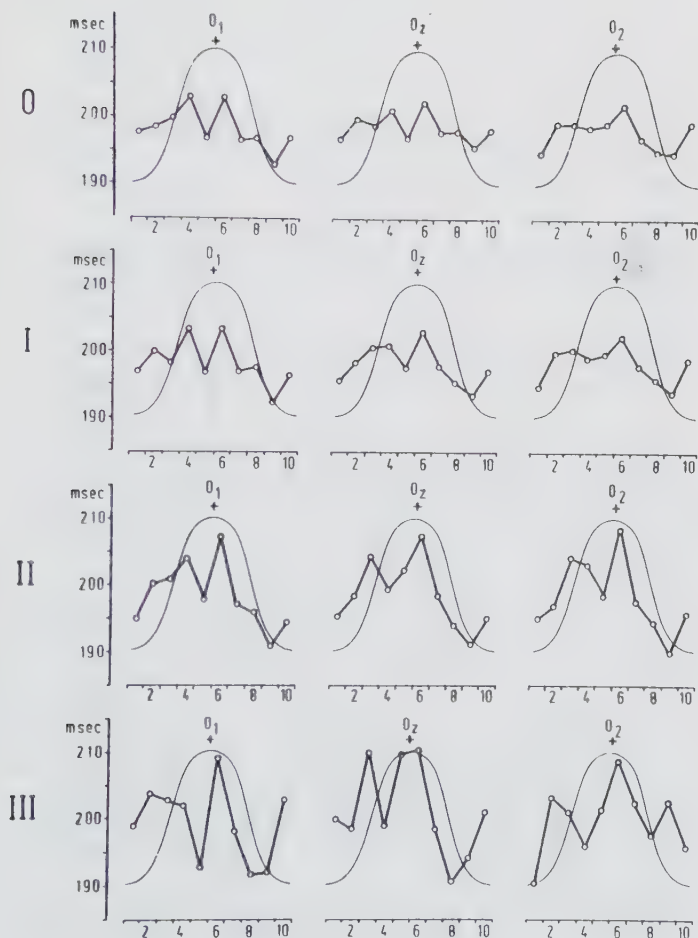


Abbildung 3: Vp H.N. Verläufe der mittleren RZn bei Einteilung der Alpha-Periode in 10 Phasenintervalle entsprechend der schematisiert dargestellten Alpha-Welle. Von oben nach unten: EEG-Bedingungen O -III; von links nach rechts: EEG-Ableitungen O_1 , O_z , O_2 ; Abszisse: Numerierung der Phasenintervalle; Ordinate: mittlere RZn in msec.

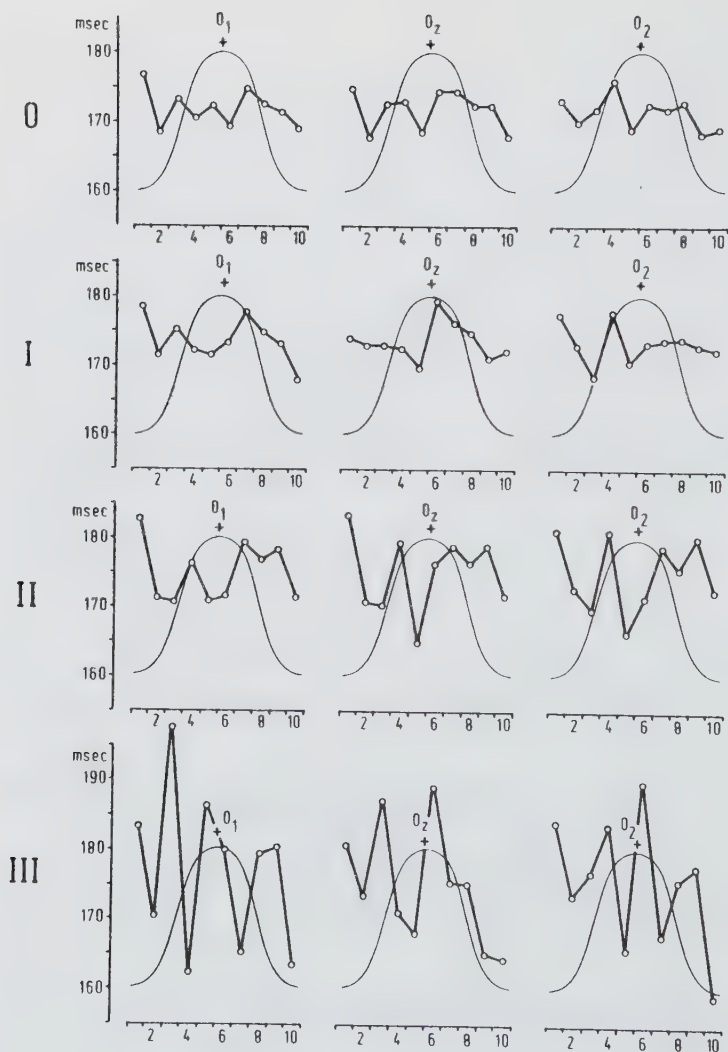


Abbildung 4: Vp T.S. Verläufe der mittleren RZn bei Einteilung der Alpha-Periode in 10 Phasenintervalle entsprechend der schematisiert dargestellten Alpha-Welle. von oben nach unten: EEG-Bedingungen O - III; von links nach rechts: EEG-Ableitungen O_1 , O_z , O_2 ; Abszisse: Numerierung der Phasenintervalle; Ordinate: mittlere RZn in msec.

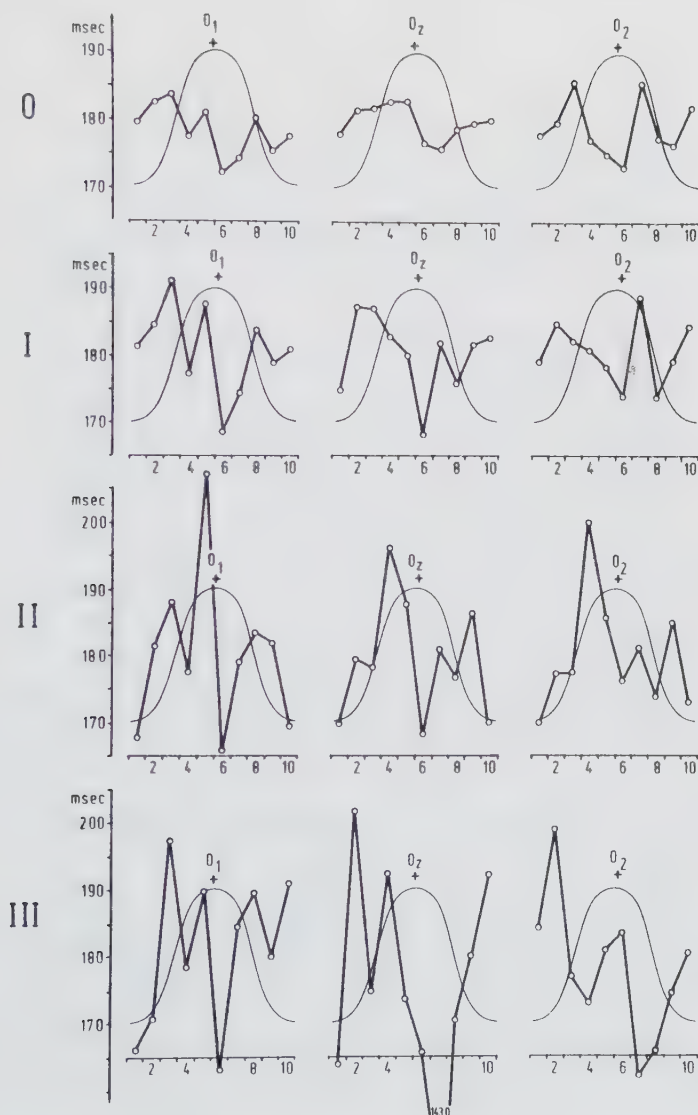


Abbildung 5: Vp G.G. Verläufe der mittleren RZn bei Einteilung der Alpha-Periode in 10 Phasenintervalle entsprechend der schematisiert dargestellten Alpha-Welle. Von oben nach unten: EEG-Bedingungen O - III; von links nach rechts: EEG-Ableitungen O_1 , O_z , O_2 ; Abszisse: Numerierung der Phasenintervalle; Ordinate: mittlere RZn in msec.

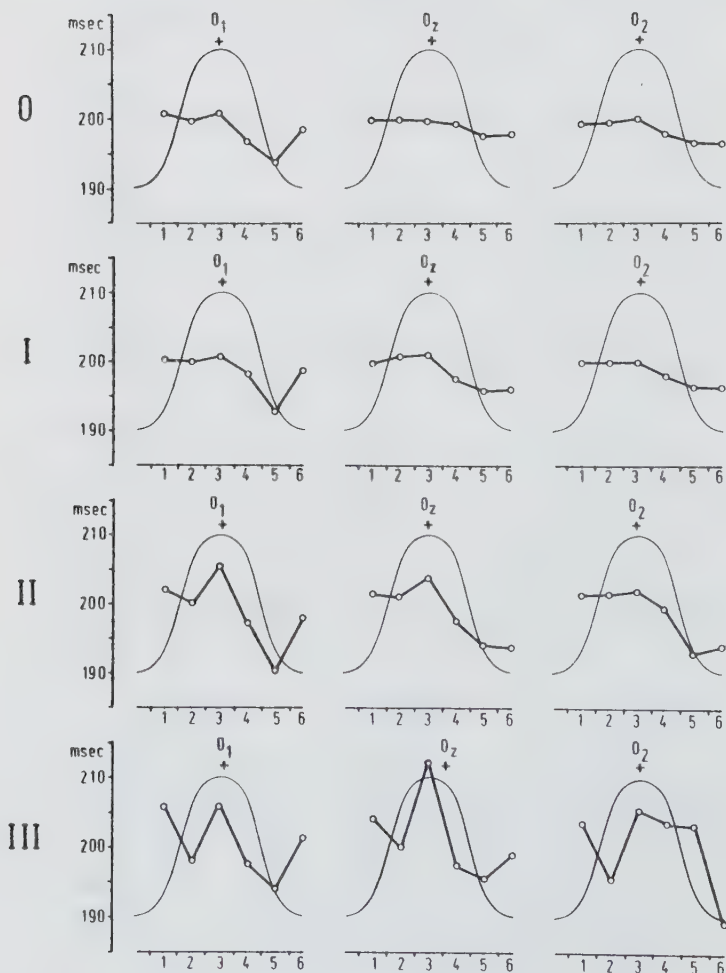


Abbildung 6: Vp H.N. Verläufe der mittleren RZn bei Einteilung der Alpha-Periode in 6 Phasenintervalle entsprechend der schematisiert dargestellten Alpha-Welle. Von oben nach unten: EEG-Bedingungen O - III; von links nach rechts: EEG-Ableitungen O_1 , O_z , O_2 ; Abszisse: Numerierung der Phasenintervalle; Ordinate: mittlere RZn in msec.

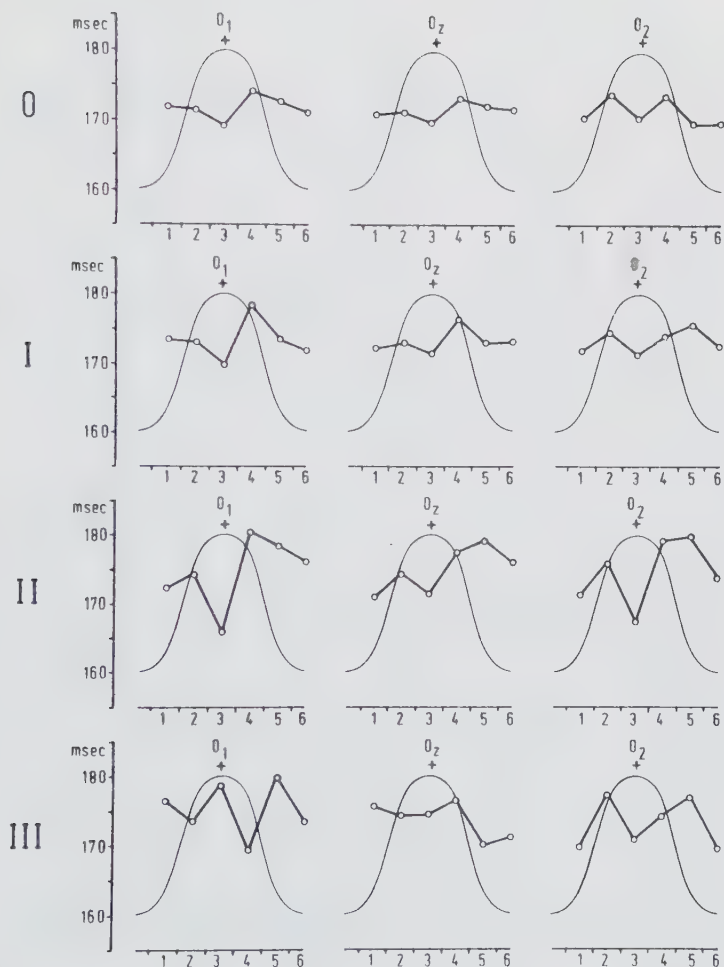


Abbildung 7: Vp T.S. Verläufe der mittleren RZn bei Einteilung der Alpha-Periode in 6 Phasenintervalle entsprechend der schematisiert dargestellten Alpha-Welle. Von oben nach unten: EEG-Bedingungen 0 - III; von links nach rechts: EEG-Ableitungen O_1 , O_z , O_2 ; Abszisse: Numerierung der Phasenintervalle; Ordinate: mittlere RZn in msec.

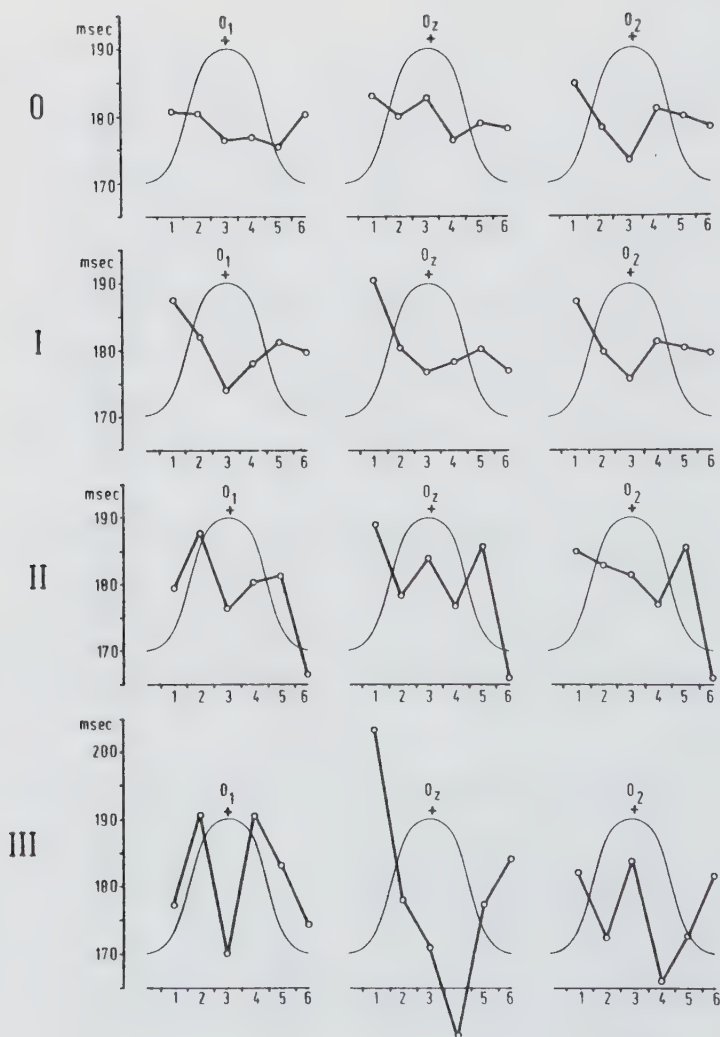


Abbildung 8: Vp G.G. Verläufe der mittleren RZn bei Einteilung der Alpha-Periode in 6 Phasenintervalle entsprechend der schematisiert dargestellten Alpha-Welle. Von oben nach unten: EEG-Bedingungen 0 - III; von links nach rechts: EEG-Ableitungen O_1 , O_z , O_2 ; Abszisse: Numerierung der Phasenintervalle; Ordinate: mittlere RZn in msec.

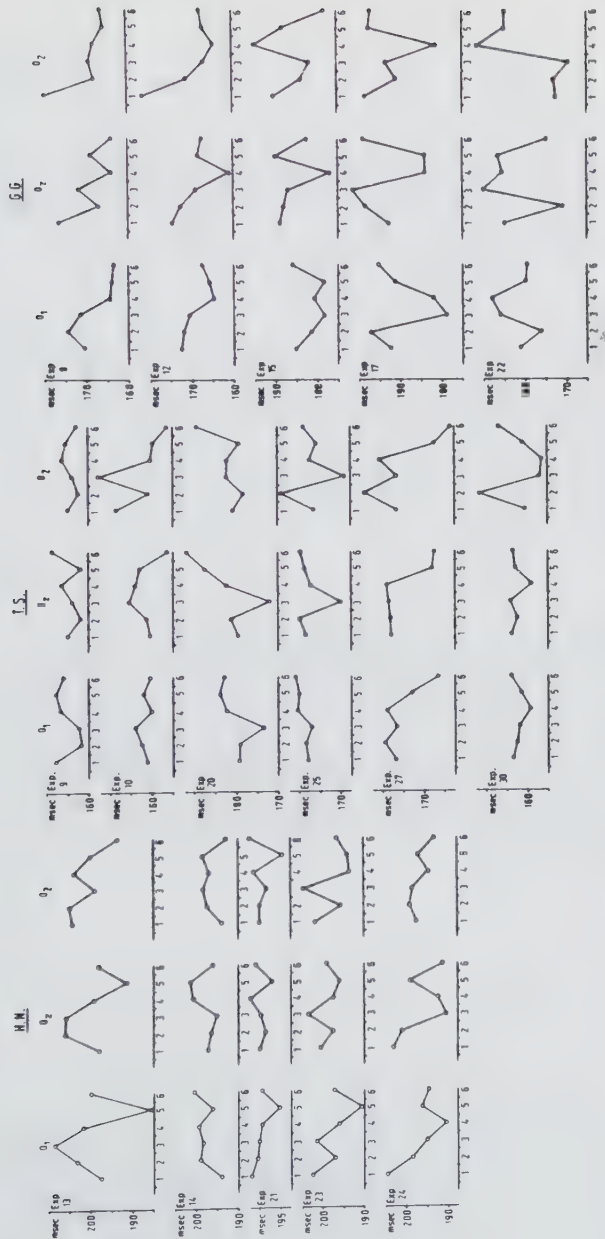


Abbildung 9: Verläufe der mittleren RZn in den Einzelexperimenten bei Einteilung der Alpha-Periode in 6 Phasenintervalle. Verwendet wurden alle Alpha-Trials (EEG-Bedingung O). Abgebildet sind die Verlaufskurven für die 3 Vpn und 3 occipitalen Ableitungen. Die Darstellungsform entspricht der der Abbildungen 6-8. Ordinate: Eine Einheit entspricht 5 msec.

Tabelle 1

	H.N.			T.S.			G.G.		
	O ₁	O ₂	O ₂	O ₁	O ₂	O ₂	O ₁	O ₂	O ₂
Analys. T.	1440	1440	1441	2396	2395	2396	1958	1958	1958
Alpha-T.	1195	1236	1221	1092	1140	1115	671	652	642
% Alpha-T.	83,0	85,8	84,7	45,6	47,6	46,5	34,3	33,3	32,8
EEG-Bed. O	1146	1193	1172	1016	1071	1050	662	644	633
EEG-Bed. I	912	912	912	611	611	611	257	257	257
EEG-Bed. II	479	479	479	314	314	314	111	111	111
EEG-Bed. III	251	297	258	171	171	165	81	73	63

Trialzahlen der drei occipitalen Ableitungen der Vpn für die verschiedenen im Text definierten Stichproben: Nach der anfänglichen Trial-Elimination aufgrund von ungünstigen experimentellen Bedingungen und Artefakten ergab sich die Zahl der 'analysierten Trials'; 'Alpha-Trials' sind alle diejenigen, in denen zur Reizzeit eine Alpha-Welle vorlag; die dritte Zeile enthält den relativen Anteil der 'Alpha-Trials' an den 'analysierten Trials' (% Alpha-Trials). - Darunter sind die Trialzahlen der vier EEG-Bedingungen (vgl. V, 4, Seite 48) aufgeführt; in diesen sind die extremen RZn (vgl. Seite 45 bzw. Tab. 2., Seite 77) nicht mehr enthalten.

Vp H.N.: $121 \leq RZn \leq 280$

Exp.	N	%Ext.	M	s	CV	Mdn	Q	Sch.	M-Mdn
13	226	5,8	199,8	24,5	12,3	198,8	15,5	-0,4	1,0
14	364	9,0	199,2	29,1	14,6	199,9	18,4	-3,3	-0,6
21	385	3,8	200,5	24,7	12,3	198,8	15,5	3,7	1,7
23	388	3,0	200,3	23,5	11,8	200,8	15,0	-3,2	-0,5
24	272	2,9	196,8	25,8	13,1	195,2	16,5	1,0	1,5
M(Exp.)		4,9	199,3	25,5	12,8	198,7	16,2	0,4	0,6
s(Exp.)		2,6	1,5	2,2	1,1	2,1	1,4	3,0	1,1

Vp T.S.: $116 \leq RZn \leq 270$

Exp.	N	%Ext.	M	s	CV	Mdn	Q	Sch.	M-Mdn
9	380	5,0	165,0	20,0	12,1	160,9	9,7	4,2	4,0
10	352	12,0	162,8	24,6	15,1	157,0	10,9	2,6	5,7
20	364	9,0	178,6	26,2	14,5	171,8	16,1	10,7	6,8
25	366	8,5	181,6	28,1	15,5	173,8	16,3	11,8	7,8
27	364	9,0	174,0	25,5	14,7	167,3	13,6	8,1	6,7
30	387	3,2	165,9	22,1	13,3	161,2	9,7	3,1	4,7
M(Exp.)		7,8	171,3	24,4	14,2	165,3	12,7	6,8	6,0
s(Exp.)		3,2	7,8	2,9	1,2	6,7	3,1	4,0	1,4

Vp G.G.: $111 \leq RZn \leq 275$

Exp.	N	%Ext.	M	s	CV	Mdn	Q	Sch.	M-Mdn
8	392	2,0	169,8	19,5	11,5	168,5	12,5	2,2	1,3
12	389	2,8	170,9	20,6	12,1	168,8	12,3	1,0	2,1
15	394	1,5	183,7	26,2	14,3	180,0	18,0	4,7	3,8
17	351	2,5	194,1	32,4	16,7	193,0	25,2	1,5	1,1
22	395	1,2	179,0	26,2	14,6	175,0	16,2	4,3	4,0
M(Exp.)		2,0	179,5	25,0	13,8	177,0	16,8	2,7	2,5
s(Exp.)		0,7	10,0	5,2	2,1	10,1	5,3	1,6	1,4

Statistiken der RZ-Verteilungen der Einzelexperimente:

N = Anzahl der Trials innerhalb der angegebenen Grenzen. Die eliminierten Trialblocks (vgl. Seite 37) sind nicht berücksichtigt; %Ext. = Anzahl der eliminierten Extremwerte in Prozent von N; M = Mittelwert; s = Standardabweichung; CV = Variationskoeffizient; Mdn = Median; Q = Semiinterquartilrange; Sch. = Schiefe: $(Q_3 - Mdn) - (Mdn - Q_1)$; M-Mdn = Differenz von Mittelwert und Median; M(Exp.) bzw. s(Exp.) = Mittelwert bzw. Standardabweichung über die Experimente.

Tabelle 3

		H.N.			T.S.			G.G.		
		O ₁	O ₂	O ₂	O ₁	O ₂	O ₂	O ₁	O ₂	O ₂
MAI	M	48,04	48,02	48,04	49,24	49,01	48,92	49,11	49,26	49,10
	s	1,86	1,85	1,80	2,64	2,48	2,51	2,82	2,83	2,86
MAA	M	45,80	41,76	45,36	30,51	29,64	33,30	35,74	28,43	34,23
	s	14,81	13,60	14,30	9,02	8,83	9,68	11,55	10,68	11,49
AH	M	8,62	8,70	8,60	7,03	7,34	7,11	6,23	6,28	6,16
	s	1,42	1,42	1,38	1,79	1,79	1,82	1,77	1,77	1,80
IVM	Q	4,23	4,16	4,32	4,84	4,61	4,92	5,54	5,56	5,55

Der Alpha-Rhythmus im 500-msec-Prästimulus-Intervall. Dargestellt sind Mittelwerte (M), Standardabweichungen (s) und Semiinterquartilranges (Q) für das mittlere Alpha-Halbwellen-Intervall (MAI) in msec, die mittlere Alpha-Peak-to-Peak-Amplitude (MAA) in μ V, die Häufigkeit der Alpha-Halbwellen (AH) und das Intervall der Halbwelle unmittelbar vor der gereizten Halbwelle (IVM) in msec. Die Werte beruhen auf allen Alpha-Trials.

	H.N. (N=1047)			T.S. (N=654)			G.G. (N=261)		
	Oz-O ₁	Oz-O ₂	O ₁ -O ₂	Oz-O ₁	Oz-O ₂	O ₁ -O ₂	Oz-O ₁	Oz-O ₂	O ₁ -O ₂
M	-1,08	-0,56	0,72	-0,99	-0,54	0,37	0,67	0,06	-0,99
s	4,46	5,69	4,48	4,48	5,15	7,19	6,32	6,93	10,46

Mittelwerte (M) und Standardabweichungen (s) der Phasenwinkel-Differenzen (PWMD) zwischen den einzelnen Ableitungen. Die Werte (in Standardeinheiten) basieren auf jeweils allen Trials, bei denen in den drei Ableitungen Oz, O₁ und O₂ eine Alpha-Ganzwelle zur Reizzeit vorlag. Zur Skala vgl. Seite 43, bzw. Abb. 1. (Seite 67).

	H.N.		T.S.		G.G.		Wertbereich
	G _u	G _o	G _u	G _o	G _u	G _o	
<u>PWMD</u>							
Oz-O ₁	-3	+3	-3	+3	-4	+4	Mittlere 68%
Oz-O ₂	-3	+3	-3	+3	-4	+4	
O ₁ -O ₂	-6	+6	-5	+5	-9	+9	
<u>MAA</u> (μV)							
Oz	35	74	25	58	25	54	Obere 68%
O ₁	39	83	26	58	29	64	
O ₂	39	80	29	63	29	66	
<u>MAI</u> (msec)							
Oz	46,3	49,8	46,6	51,3	46,6	51,2	Mittlere 68%
O ₁	46,3	49,7	46,5	51,6	46,2	51,9	
O ₂	46,2	49,5	46,2	51,3	46,1	51,6	
<u>IVM</u> (msec)							
Oz	42	54	43	55	43	57	Mittlere 68%
O ₁	42	53	43	56	42	57	
O ₂	42	54	43	56	42	57	
<u>ISM</u> (msec)							
Oz	43	55	43	57	44	57	Mittlere 68%
O ₁	43	55	43	57	43	58	
O ₂	43	55	43	56	44	57	
<u>AMP</u> (μV)							
Oz	25	88	20	73	20	70	Obere 80%
O ₁	29	85	20	73	23	79	
O ₂	28	88	22	76	22	73	
<u>AH</u>							
Oz	97 %		92 %		85 %		AH ≥ 5
O ₁	97 %		90 %		83 %		
O ₂	97 %		90 %		82 %		

Untere und obere Grenzwerte (G_u, G_o) der EEG-Parameter für die Trial-Elimination entsprechend den EEG-Bedingungen II und III. PWMD = Phasenwinkeldifferenz der gereizten Alpha-Halbwellen; MAA = Mittlere Alpha-Peak-to-Peak-Amplitude im Prästimulus-Intervall; MAI = Mittleres Intervall der Alpha-Halbwellen im Prästimulus-Intervall; IVM = Dauer der der gereizten vorangehenden Halbwellen; ISM = Dauer der gereizten Halbwellen; AMP = Peak-to-Peak-Amplitude der gereizten Halbwellen; AH = Häufigkeit der Alpha-Halbwellen im Prästimulus-Intervall (Angabe des Prozentsatzes des verbleibenden Trials bei AH ≥ 5).

Tabella 6

Vp	EEG Bed	O ₁			O ₂			F: M lin. qua. kub. H	F: M lin. qua. kub. H	5%F _M 5%F _T								
		F: M lin. qua. kub. H	F: M lin. qua. kub. H	F: M lin. qua. kub. H	F: M lin. qua. kub. H	F: M lin. qua. kub. H	F: M lin. qua. kub. H											
H.N.	O	1,62	1,04	1,11	1,76	-	0,80	0,01	0,59	0,35	-	1,11	0,25	0,79	2,61	-	1,89	3,85
	I	1,69	0,72	1,00	1,19	-	1,70	0,10	2,48	2,60	-	1,08	0,39	1,63	3,00	-	1,89	3,85
	II	<u>2,02</u>	0,80	<u>4,20</u>	1,85	-	<u>2,09</u>	1,45	<u>5,41</u>	0,52	-	<u>2,49</u>	1,87	<u>7,30</u>	0,65	-	1,90	3,86
	III	1,35	0,08	0,12	0,37	-	<u>1,93</u>	1,53	2,03	1,14	-	1,07	1,14	2,82	0,00	s	1,91	3,88
T.S.	O	0,97	0,62	0,00	<u>5,31</u>	-	1,10	0,19	0,37	<u>3,90</u>	-	0,90	1,54	0,24	0,05	-	1,89	3,85
	I	0,78	1,63	0,04	<u>5,81</u>	s	0,53	0,01	0,02	3,28	-	0,70	0,44	0,74	2,05	-	1,90	3,86
	II	0,69	0,18	0,16	<u>7,57</u>	s	1,25	0,18	0,22	<u>6,01</u>	s	1,08	0,55	0,82	3,85	-	1,91	3,87
	III	<u>2,90</u>	2,03	2,90	1,03	s	1,38	<u>3,99</u>	0,74	0,00	-	1,80	0,77	0,68	3,31	s	1,94	3,91
G.G.	O	1,21	1,77	0,56	<u>5,36</u>	s	0,53	1,15	0,21	3,48	-	1,59	<u>5,02</u>	0,06	1,33	-	1,89	3,86
	I	1,27	2,02	0,01	<u>7,85</u>	s	0,91	2,77	0,15	<u>7,50</u>	s	0,76	<u>2,23</u>	1,07	2,76	-	1,91	3,88
	II	1,20	1,36	2,41	2,25	-	0,76	0,30	0,32	3,65	-	0,64	0,44	0,63	<u>4,81</u>	-	1,97	3,94
	III	1,25	0,15	0,53	3,30	-	<u>2,62</u>	2,96	0,19	<u>5,77</u>	-	0,49	1,62	0,28	0,06	-	2,04	4,03

Varianzanalytisch gewonnene F-Werte der Mittelwertsvergleiche (M) und Trendanalysen (lin., qua., kub.) für 3 Vpn, 3 Ableitungen und 3 EEG-Bedingungen (Unterstichproben). Unterteilung der Alpha-Periode in 10 gleichlange Abschnitte (nach CALLAWAY). Nach dem F_{max}-Kriterium signifikant inhomogene Zellenvarianzen sind gekennzeichnet (H; s = signifikant). Einfach unterstrichene Werte: $p < 0,05$; doppelt unterstrichene Werte: $p < 0,01$; unterbrochene Striche bei inhomogenen Varianzverhältnissen. Die kritischen F-Werte des 5%-Niveaus sind jeweils für die Mittelwertsvergleiche (F_M) und Trendanalysen (F_T) angegeben. - EEG-Bedingungen (vgl. Abschnitt V, 4, Seite 48): 0: Alle Trials mit einer Alpha-Ganzwelle zur Reizzeit (Alpha-Trials); I: Trials mit einer Alpha-Ganzwelle zur Reizzeit in allen 3 Ableitungen; II: Trials mit hoher interhemisphärischer Synchronisation; III: Trials mit ausgeprägtem Alpha-Rhythmus im Prästimulus-Intervall. Zu den jeweiligen Stichprobengrößen vgl. Tab. 1. Seite 76.

Tabelle 7

Vp	EEG Bed	O ₁			O ₂			O ₂			H	F: M	lin.	qua.	kub.	H	5%F _M	5%F _T
		F: M	lin.	qua.	kub.	H	F: M	lin.	qua.	kub.								
H.N.	O	2,12	3,22	0,57	<u>3,88</u>	-	0,36	0,16	0,00	0,27	-	0,76	1,75	0,20	0,16	-	2,22	3,85
	I	2,18	1,33	0,00	<u>4,05</u>	-	1,34	1,77	0,83	2,11	-	0,72	1,88	0,13	0,05	-	2,22	3,85
	II	<u>3,56</u>	<u>4,87</u>	0,05	<u>4,56</u>	-	<u>2,27</u>	3,04	1,30	1,19	-	2,20	<u>4,45</u>	1,23	0,27	-	2,23	3,86
	III	1,42	0,03	0,47	1,03	s	<u>2,35</u>	0,11	0,71	2,19	-	<u>2,16</u>	1,04	<u>4,01</u>	<u>5,21</u>	s	2,25	3,88
T.S.	O	0,60	0,05	0,03	2,74	-	0,36	0,00	0,00	0,94	-	1,06	1,68	0,31	0,23	-	2,22	3,85
	I	1,01	0,00	0,30	<u>5,55</u>	-	0,39	0,12	0,15	1,33	-	0,37	0,02	0,01	1,68	-	2,23	3,86
	II	1,50	1,91	0,17	1,79	s	0,74	1,26	0,23	1,24	s	1,40	1,10	0,00	2,41	s	2,25	3,87
	III	0,52	<u>5,13</u>	0,58	0,07	s	0,26	<u>5,39</u>	0,47	0,32	-	0,47	0,02	0,45	0,00	s	2,27	3,91
G.G.	O	0,79	0,24	2,59	2,75	-	1,02	1,63	0,37	1,35	-	2,04	3,06	<u>5,19</u>	3,53	-	2,23	3,86
	I	0,90	3,14	1,62	0,21	-	1,33	<u>4,33</u>	1,22	0,01	-	0,67	2,57	2,81	0,00	-	2,26	3,89
	II	0,89	<u>4,28</u>	0,00	0,54	s	1,19	<u>6,74</u>	0,00	0,01	s	0,99	<u>5,90</u>	0,00	0,02	s	2,30	3,94
	III	1,16	0,93	0,55	0,00	-	<u>3,21</u>	<u>5,85</u>	<u>10,30</u>	0,16	-	0,76	1,33	0,00	0,32	-	2,37	4,03

Varianzanalytisch gewonnene F-Werte der Mittelwertvergleiche (M) und Trendanalysen (lin., qua., kub.) für 3 Vpn, 3 Ableitungen und 3 EEG-Bedingungen (Unterschiedsprobieren). Unterteilung der Alpha-Periode in 6 gleichlange Abschnitte (nach LANSING). Nach dem Fmax-Kriterium signifikant inhomogene Zellenvarianzen sind gekennzeichnet (H; s = signifikant). Einfach unterstrichene Werte: $P < 0,05$; doppelt unterstrichene Werte: $P < 0,01$; unterbrochene Striche bei inhomogenen Varianzverhältnissen. Die kritischen F-Werte des 5%-Niveaus sind jeweils für die Mittelwertvergleiche (F_M) und Trendanalysen (F_T) angegeben. - EEG-Bedingungen (vgl. Abschnitt V, 4, Seite 48): O: Alle Trials mit einer Alpha-Ganzwelle zur Reizzeit (Alpha-Trials); I: Trials mit einer Alpha-Ganzwelle zur Reizzeit in allen 3 Ableitungen; II: Trials mit hoher interhemisphärischer Synchronisation; III: Trials mit ausgeprägtem Alpha-Rhythmus im Prästimulus-Intervall. Zu den jeweiligen Stichprobengrößen vgl. Tab. 1., Seite 76.

IX. Zusammenfassung

=====

In einigen früheren Experimenten amerikanischer Autoren war ein Zusammenhang zwischen der Reaktionszeit auf einfache visuelle Reize und der Phase des occipitalen Alpha-Rhythmus zum Zeitpunkt der Reizgabe gefunden worden. Die in diesen Untersuchungen verwendeten Messmethoden wiesen erhebliche Mängel auf, die Ergebnisse waren uneinheitlich.

Die vorliegende Untersuchung hatte das Ziel, mit einem verbesserten Messverfahren und einem dem Phänomen adäquateren Versuchsplan die Grundhypothese eines Zusammenhanges zwischen Alpha-Phase und visueller Reaktionszeit erneut zu überprüfen und wenn möglich ein genaueres Bild von der Art dieses Zusammenhanges zu entwerfen.

An drei Versuchspersonen mit ausgeprägtem occipitalen Alpha-Rhythmus wurde in mehreren Sitzungen innerhalb eines einfachen zyklischen Reiz-Reaktions-Experiments eine große Anzahl von Reaktionszeiten gewonnen und gleichzeitig das EEG von drei occipitalen Ableitungspunkten registriert. Eine automatische EEG-Analysenmethode wurde entwickelt, die es gestattet, die Phase der individuellen Alpha-Welle zum Zeitpunkt der Reizgabe mit großer Genauigkeit zu messen.

Es wurde erwartet, daß ein hochsynchronisiertes Alpha-EEG besonders günstig für die Untersuchung des Zusammenhanges zwischen Alpha-Phase und RZ sein würde. Die Analyse der EEG-Strecke im Prästimulus-Intervall, sowie der Phasenverhältnisse zwischen den Ableitungspunkten ermöglichte eine postexperimentelle Trial-Auswahl nach zwei verschiedenen Synchronisations-Kriterien des Alpha-Rhythmus: (a) einer weitgehenden interhemisphärischen Phasenübereinstimmung und (b) einem ableitungsspezifisch besonders ausgeprägten Alpha-Rhythmus. Die varianzanalytische Über-

prüfung des Alpha-Phasen-RZ-Zusammenhanges unter den verschiedenen EEG-Bedingungen führte zu folgenden Ergebnissen:

- a) Bei allen Versuchspersonen zeigte sich ein Zusammenhang zwischen Alpha-Phase und Reaktionszeit nur in der dem primären visuellen Projektionsareal am nächsten gelegenen EEG-Ableitung bei ausgeprägtem Alpha-Rhythmus im Prästimulus-Intervall.
- b) Der Zusammenhang war statistisch am deutlichsten bei der Versuchsperson, die im Vergleich zu den anderen das größte Maß an Synchronisation im Alpha-Bereich zeigte.
- c) Die mittleren Reaktionszeiten 'schneller' und 'langsamer' Phasenintervalle unterschieden sich weit mehr, als bisher angenommen wurde. Dies spricht für einen größeren Einfluß der dem Alpha-Rhythmus zugrundeliegenden kortikalen Mechanismen auf die visuomotorische Verarbeitungsgeschwindigkeit, als bisher vermutet wurde.
- d) Die Erwartung, daß die auf der Basis der genaueren automatischen EEG-Analyse und des Einzelfall-Versuchsplanes erhobenen Befunde weitere Aufklärung über die Art des Zusammenhanges zwischen Alpha-Phase und Reaktionszeit bringen könnten, bestätigte sich nicht.

Es wird die Schlußfolgerung gezogen, daß zur weiteren Aufklärung des untersuchten Zusammenhanges experimentelle Methoden verwendet werden sollten, die speziell die inter- und intraindividuelle Variabilität des Phänomens und die besonderen Eigenschaften des am Schädel abgeleiteten Alpha-Rhythmus in Rechnung stellen. Hierzu werden einige Ansätze dargestellt.

Literatur-Verzeichnis

=====

- ANDERSEN, P. & ANDERSSON, S.A.: Physiological Basis of the Alpha Rhythm. New York 1968.
- v.BAER, K.: Reden, gehalten in wissenschaftlichen Versammlungen. St. Petersburg 1864 (nach Holubar).
- BARTLEY, S.H.: Some Factors in Brightness Discrimination. Psychol. Rev. 1939, 46: 337-358.
- BARTLEY, S.H.: The Relation between Cortical Responses to Visual Stimulation and Changes in the Alpha Rhythm. J.Exp.Psychol. 1940, 27: 624-639.
- BARTLEY, S.H. & BISHOP, G.H.: Factors determining the Form of the Electrical Response from the Optic Cortex of the Rabbit. Amer.J.Physiol. 1933, 103: 173-184.
- BILLS, A.G.: Studying Motor Functions and Efficiency. In ANDREWS, T.G. (Hg.): Methods of Psychology, Wiley, New York 1961 : 459-497.
- BISHOP, G.H.: Cyclic Changes in the Excitability of the Optic Pathway of the Rabbit. Amer.J.Physiol., 1933, 103: 211-224.
- BODDY, J.: The Relationship of Reaction Time to Brain Wave Period: A Re-Evaluation. Electroenceph. clin. Neurophysiol., 1971, 30: 229-235.
- CALLAWAY III, E.: Day-to-day Variability in the Relationship between Electroencephalographic Alpha Phase and Reaction Time to Visual Stimuli. Ann. N.Y. Acad. Sci. 1961, 92: 1183-1186.
- CALLAWAY III, E.: Factors Influencing the Relationship between Alpha Activity and Visual Reaction Time. Electroenceph. clin. Neurophysiol. 1962, 14: 674-682.
- CALLAWAY III, E. & ALEXANDER, J.D.: The Temporal Coding of Sensory Data: An Investigation of two Theories. J. Gen. Psychol. 1960, 62: 293-309.
- CALLAWAY III, E. & LAYNE, R.S.: Interaction between the Visual Evoked Response and two Spontaneous Biological Rhythms: the EEG Alpha Cycle and the Cardiac Arousal Cycle. Ann. N.Y. Acad. Sci. 1964, 112: 421-431.
- CALLAWAY III, E. & YEAGER, Ch.L.: Relationship between Reaction Time and Electroencephalographic Alpha Phase. Science 1960, 132: 1765-1766.

- CHANG, E.T.: Changes in Excitability of Cerebral Cortex following Single Electric Shock applied to Cortical Surface. J. Neurophysiol. 1951, 14: 95-112.
- CHANG, E.T.: Cortical Responses to Stimulation of the Lateral Geniculate Body and the Potentiation thereof by Continuous Illumination of the Retina. J. Neurophysiol. 1952, 15: 5-26.
- CLARE, M.H. & BISHOP, G.H.: The Intracortical Excitability Cycle following Stimulation of the Optic Pathway of the Cat. Electroenceph. clin. Neurophysiol. 1952, 4: 311-320.
- COFFIN, S. & GANZ, L.: Correlation of EEG Frequency with Temporal Resolution in Man. Society for Neuroscience, Third Annual Meeting, San Diego 1973.
- COOPER, R.: Diskussionsbeitrag auf dem Internationalen EEG-Kongreß in Marseille 1973.
- COOPER, R., WINTER, A.L., CROW, H.J. & WALTER, W.G.: Comparison of Subcortical, Cortical and Scalp Activity using Chronically Indwelling Electrodes in Man. Electroenceph. clin. Neurophysiol. 1965, 18: 217-228.
- DeLUCCHI, M.R., GAROUTTE, B. & AIRD, R.B.: The Scalp as an Electroencephalographic Averager. Electroenceph. clin. Neurophysiol. 1962, 14: 191-196.
- DUSTMAN, R.E. & BECK, E.C.: Phase of Alpha Brain Waves, Reaction Time and Visually Evoked Potentials. Electroenceph. clin. Neurophysiol. 1965, 18: 433-440.
- EDWARDS, A.L.: Experimental Design in Psychological Research. Holt, Rinehart and Winston, London 1969.
- FREUD, S.: Notiz über den "Wunderblock". Gesammelte Werke Band XIV, London 1972. (Erstveröffentlichung 1925).
- GAARDER, K., KORESKO, R. & KROPFL, W.: The Phasic Relation of a Component of Alpha Rhythm to Fixation Saccadic Eye Movements. Electroenceph. clin. Neurophysiol. 1966, 21: 544-551.
- GASTAUT, H.: Vom Berger-Rhythmus zum Alpha-Kult und zur Alpha-Kultur. Z. EEG-EMG 1974, 5: 189-199.
- GRÜNEWALD-ZUBERBIER, E., GRÜNEWALD, G., RASCHE, A. & NETZ, J.: Contingent Negative Variation and Alpha Attenuation Responses in Children with Different Abilities to Concentrate. Electroenceph. clin. Neurophysiol. 1978, 44: 37-47.
- HARTER, R.: Excitability Cycles and Cortical Scanning: A Review of Two Hypothesis of Central Intermittency in Perception. Psychol. Bull. 1967, 68, 47-58.

- HARTER, M.R. & WHITE, C.T.: Perceived Number and Evoked Cortical Potentials. *Science* 1967, 156, 406-408.
- HOHLE, R.H.: Component Process Latencies in Reaction Times of Children and Adults. In LIPSITT, L.P. and SPIKER, C.L. (Hg.): Advances in Child Development and Behavior 1967, Vol.3: 225-261.
- HOLUBAR, J.: The Sense of Time. An Electrophysiological Study of its Mechanisms in Man. The M.I.T. Press, Cambridge, Mass. 1969.
- JASPER, H.H.: Cortical Excitatory State and Synchronism in the Control of Bioelectric Autonomous Rhythms. Cold Spr. Harb. Symp. quant. Biol. 1936, 4: 320-338.
- JASPER, H.H.: Report of the Committee on Methods of Clinical Examination in Electroencephalography. *Electroenceph. clin. Neurophysiol.* 1958, 10: 370-375.
- KIRK, R.E.: Experimental Design: Procedures for the Behavioral Sciences. Belmont, Cal. 1968.
- KNOTT, H.R.: Some Effects of 'Mental Set' on the Electrophysiological Processes of the Human Cerebral Cortex. *J. exp. Psychology* 1939, 24: 384-405.
- KOMISARUK, B.R.: The Role of Rhythmical Brain Activity in Sensorimotor Integration. In SPRAGUE, J.M. and EPSTEIN, A.N. (Hg.): Progress in Psychobiology and Physiological Psychology, Vol.7, New York 1977.
- LANGE, L.: Neue Experimente über den Vorgang der einfachen Reaktion auf Sinnesreize. *Philosophische Studien* 1888, 4: 479-510.
- LANSING, R.W.: Relation of Brain and Tremor Rhythms to Visual Reaction Time. *Electroenceph. clin. Neurophysiol.* 1957, 9: 497-504.
- LATOUR, P.L.: Evidence of Internal Clocks in the Human Operator. *Acta Psychologica* 1967, 27: 341-348.
- LATOUR, P.L. & BOUMAN, M.A.: A Non Analog Time Component in Visual Pursuit Movement. In ROSENBLITH, W.A. (Hg.): Sensory Communication, 1968 (4. Aufl.), 798-803.
- LIENERT, G.A.: Verteilungsfreie Methoden in der Biostatistik. Meisenheim a.G. 1973 (3. Aufl.).
- LINDSLEY, D.B.: Psychological Phenomena and the Electroencephalogram. *Electroenceph. clin. Neurophysiol.* 1952, 4: 443-456.
- LOVELESS, N.E. & SANFORD, A.J.: Slow Potential Correlates of Preparatory Set. *Biol. Psychol.* 1974, 1: 303-314.

- MEISTER, R.K.: A Hypothesis Concerning the Function of the Occipital Alpha Rhythm in Vision with Special Reference to the Perception of Movement. Unveröff. Diss. Univ. Chicago 1951 (nach M.R. Harter 1967).
- MONNIER, M.: Retinal, Cortical, and Motor Responses to Photic Stimulation in Man: Retino-cortical Time and Optomotor Integration Time. J. Neurophysiol. 1952, 15: 469-486.
- O'HARE, J.J.: The Variability of Auditory and Visual Reaction Time with Changes in the Amplitude and Phase of the Alpha Rhythm. Amer. Psychologist 1954, 9: 444.
- PEREZ-BORJA, C., CHATRIAN, G.E., TYCE, F.A. & RIVERS, M.H.: Electrographic Patterns of the Occipital Lobe in Man: A topographic Study based on the Use of Implanted Electrodes. Electroenceph. clin. Neurophysiol. 1962, 14: 171-182.
- PITTS, W. & McCULLOCH, W.S.: How we know Universals: The Perception of Auditory and Visual Forms. Bull. Math. Biophys. 1947, 9: 127-147.
- SCHEIBEL, E.M., DAVIES, T.L. & SCHEIBEL, A.B.: On Thalamic Substrates of Cortical Synchrony. Neurology 1973, 23: 300-304.
- STROUD, J.: Psychological Moment in Perception. In FOERESTER, H.V. (Hg.): Conference on Cybernetics, New York 1949.
- TÄUMER, R., SCHLIER, Ch., SCHMIDT, C. & SCHUPP, W.: Die Abhängigkeit der Reaktionszeit von der zeitlichen Folge optischer Reize. Kybernetik 1970, 7: 183-191.
- VENABLES, P.H.: Periodicity in Reaction Time. Brit. J. Psychol. 1960, 51: 37-43.
- WALSH, E.G.: Visual Reaction Time and the Alpha Rhythm. An Investigation of a Scanning Hypothesis. J. Physiol. 1952, 118: 500-508.
- WALTER, W.G.: The Functions of the Electrical Rhythms of the Brain. J. Mental Sciences 1950, 96: 1-31.
- WIENER, N.: Gestalt and Universals. In WIENER, N.: Cybernetics. New York 1948.
- WINER, B.J.: Statistical Principles in Experimental Design. New York, McGraw Hill, 1971 (2. Aufl.).
- WOODWORTH, R.S. & SCHLOSBERG, H.: Reaction Time. In WOODWORTH, R.S. and SCHLOSBERG, H.: Experimental Psychology, 1965, 8-42.

Lebenslauf

=====

- 1940: geboren in Weimar am 11. Februar; mein Vater, Heinz Paul Rasche, war praktischer Arzt und ist 1945 gefallen; meine Mutter, Margarete Rasche, geb. Buschner, ist Archivarin und Dolmetscherin.
- 1940 - 1946 wohnte ich in Egeln bei Magdeburg bis zur Übersiedelung nach Westdeutschland.
- 1946 - 1960 Besuch der Grundschule in Bensheim-Auerbach und anschließend des Gymnasiums in Bensheim (Bergstraße), ab 1953 in Darmstadt.
- 1960: Abitur in Darmstadt.
- 1960 - 1962: Volontariat mit Ausbildung zum Zeitungsredakteur bei der Mainzer Allgemeinen Zeitung.
- 1962 - 1963: Studium der Biologie in Frankfurt und Darmstadt.
- 1963 - 1969: Psychologie-Studium in Freiburg/Br.
- 1969: Diplom-Prüfung.
- 1969 - 1970: Arbeit als wiss. Hilfskraft am Psychologischen Institut der Universität Freiburg.
- 1970 - 1976 arbeitete ich als wiss. Angestellter im Sonderforschungsbereich 70, Hirnforschung und Sinnesphysiologie; dies mit einjähriger Unterbrechung durch eine Tätigkeit als klinischer Psychologe in der Hochschwarzwaldklinik für Psychosomatische Erkrankungen in St. Blasien.
- Seit 1973: Weiterbildung zum Psychoanalytiker/Psychotherapeuten am Institut für Psychoanalyse und Psychotherapie Freiburg.
- Seit 1976 arbeite ich als Psychotherapeut in der Psychotherapiestation für Kinder und Jugendliche des Sozialpädagogischen Dienstes in Basel und in Freiburg.

